

RICARDO THEIS GERALDI

PROCESSO PARA MODELAGEM DE  
VARIABILIDADES DE SISTEMAS CIBER-FÍSICOS  
APOIADO POR *FEATURE MODELS*

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito da pesquisa doutoral para obtenção do título de Doutor em Informática.

Curitiba  
2022

RICARDO THEIS GERALDI

PROCESSO PARA MODELAGEM DE  
VARIABILIDADES DE SISTEMAS CIBER-FÍSICOS  
APOIADO POR *FEATURE MODELS*

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito da pesquisa doutoral para obtenção do título de Doutor em Informática.

Área de concentração: Ciência da Computação.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andreia Malucelli

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sheila Reinehr

Curitiba  
2022

Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central  
Pamela Travassos de Freitas – CRB 9/1960

G354p  
2022

Geraldi, Ricardo Theis

Processo para modelagem de variabilidades de sistemas ciber-físicos apoiado por feature models / Ricardo Theis Geraldi ; orientadora: Andreia Malucelli ; co-orientadora: Sheila Reinehr. – 2022.  
338 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2022

Bibliografia: f. 240-256

1. Informática. 2. Ciência da computação. 3. Engenharia de Produto - Software. 4. Projeto de sistemas. 5. Software - Desenvolvimento. 6. Software de sistemas. I. Malucelli, Andreia. II. Reinehr, Sheila. III. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Informática. IV. Título.

CDD 20. ed. – 001.64



Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Escola Politécnica  
Programa de Pós-Graduação em Informática

32-2022

## **DECLARAÇÃO**

Declaro para os devidos fins que o aluno **RICARDO THEIS GERALDI**, defendeu sua tese de Doutorado intitulada “**PROCESSO PARA MODELAGEM DE VARIABILIDADES DE SISTEMAS CIBER-FÍSICOS APOIADO POR FEATURE MODELS**”, na área de concentração Ciência da Computação, no dia 25 de maio de 2022, no qual foi aprovado.

Declaro ainda que foram feitas todas as alterações solicitadas pela Banca Examinadora, cumprindo todas as normas de formatação definidas pelo Programa.

Por ser verdade, firmo a presente declaração.

Curitiba, 30 de maio de 2022.

Prof. Dr. Emerson Cabrera Paraiso  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Informática  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me abençoado nesta caminhada, seja nos desafios, dificuldades, bem como nas muitas felicidades durante todo este período. Um imenso obrigado pela compreensão de todas as pessoas que contribuíram para a realização desta pesquisa. Em especial:

À minha família pelo carinho, amor, paciência, incentivo e dedicação com relação a mim: Ao meu amado Pai Adenis Aparecido Geraldi, a minha amada Mãe Vera Lúcia Theis Geraldi e ao meu grande parceiro e amado Irmão Marcelo Theis Geraldi. Agradecimentos nunca medirão o que estas pessoas fazem e já fizeram por mim! Meu Muito Obrigado a minha família que me tornou uma pessoa melhor frente ao aprendizado, ao mundo e em todas as lições de vida.

Aos excelentes professores e pesquisadores que tive o privilégio de conhecer e aprender durante o doutorado na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR).

À Andreia Malucelli, minha orientadora, e à Sheila Reinehr, minha coorientadora, por sempre me motivarem, compartilharem conhecimentos e experiências, sugerirem a busca por novos horizontes no desenvolvimento desta pesquisa, além de me guiarem nas dificuldades ao longo deste período.

Aos amigos(as) do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Software (GEPS): Adriano Pessini, Gabriel Moreira, Joselaine Valaski, Karina Curcio, Kelly Bettio, Luan Melo, Manoel Neto, Marco Paludo, Rafaela Otemaier, Regina Albuquerque, Regiane Orlovski, Rhodrigo Deda, Ricardo Vieira, Tânia Dors, Thober Detofeno, Tiago Navarro e Vinícius Andrade. Agradeço aos amigos, que compartilharam seus conhecimentos, vitórias e dificuldades no início do doutorado: Paulo Roberto de Oliveira, Ricardo Vieira e Rodolfo Miranda.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

As transformações tecnológicas da Indústria 4.0 direcionam caminhos para a investigação de novos desafios na área da computação. Sistemas Ciber-Físicos (SCF) é um paradigma tecnológico em ascensão, considerado uma nova classe de sistemas de engenharia. Um dos principais problemas em SCF é compreender suas características para modelar e lidar sistematicamente com as partes ciber e física. Atividades de Gerenciamento de Variabilidade (GV) da engenharia moderna de Linha de Produto de Software (LPS) são úteis para a modelagem de SCF. Há muitas variações de características (variabilidades) em SCF que dificultam resolver desafios de classificar e sistematizar a modelagem de variabilidades de SCF. Não há uma solução adequada para classificar e guiar a modelagem sistemática de variabilidades das principais características de SCF. Esta pesquisa propõe como solução principal um processo para classificar e guiar essa modelagem de SCF apoiada por *feature models*, denominado **Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems** (ProVarMod4CPS), representado utilizando a *Business Process Modeling Notation* (BPMN) com três artefatos principais: um *Feature Model*; um artefato Diretrizes (*Guidelines*); e um artefato *Checklist*. Originalmente, o ProVarMod4CPS possui atividades, papéis e tarefas em um subprocesso que auxiliam na combinação de seus artefatos na engenharia de domínio moderna de LPS para guiar, proativamente, na modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais das principais características de SCF. Esta pesquisa foi conduzida com base nas seis atividades do método *Design Science Research* (DSR): identificar o problema e motivação na literatura de SCF, LPS e GV; definir os objetivos de uma solução para o problema de modelar SCF; projetar e desenvolver o processo ProVarMod4CPS como solução principal (artefato); demonstrar o ProVarMod4CPS e seus artefatos por meio de avaliações empíricas qualitativas; avaliar os resultados qualitativos das avaliações para melhorar o ProVarMod4CPS; e comunicar os resultados em meios científicos. Os resultados evidenciam que o ProVarMod4CPS e seus artefatos são significativos para a modelagem sistemática das variabilidades das principais características de SCF. O conhecimento constituído nesta pesquisa permitirá a evolução do ProVarMod4CPS em novos trabalhos em ambientes acadêmicos e industriais.

Palavras-chaves: Linha de Produto de Software, Modelagem de Variabilidades, Processo BPMN, ProVarMod4CPS, Sistemas Ciber-Físicos.

## ABSTRACT

The technological transformations of Industry 4.0 are going ways to investigate new challenges in the computing area. Cyber-Physical Systems (CPS) is a growing technological paradigm, considered a new class of engineering systems. One of the main problems in CPS is understanding its features to systematically model and deal with the cyber and physical parts. Variability Management (VM) activities of modern Software Product Lines (SPL) engineering are useful for CPS modeling. There are many feature variations (variabilities) in CPS that are difficult to solve the challenges of classifying and systematizing CPS variability modeling. There is no proper solution to classify and guide the systematic variability modeling of the CPS main features. This research proposes as a main solution a process to classify and guide such CPS modeling supported by feature models, known as **Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems (ProVarMod4CPS)**, represented using Business Process Modeling Notation (BPMN) having three main artifacts: a Feature Model, a Guidelines, and a Checklist. Originally, the ProVarMod4CPS has activities, roles, and tasks within of a subprocess, which aid in combining its artifacts in modern SPL domain engineering to proactively guide in modeling technical and organizational variability of the CPS main features. This research was conducted based on the six activities of the Design Science Research (DSR) method: identify the problem and motivation in the CPS, SPL, and VM literature; define the objective of a solution to the CPS modeling problem; design and development the ProVarMod4CPS process as the core solution (artifact); demonstrate ProVarMod4CPS and its artifacts through qualitative empirical evaluations; evaluate the qualitative results of the evaluations to improve ProVarMod4CPS; and communicate the results in scientific publications. The results evidence that ProVarMod4CPS and its artifacts are significant for the systematic variability modeling of the CPS main features. The formed knowledge in this research will allow the evolution of ProVarMod4CPS in new works within of academic and industrial environments.

Keywords: BPMN Process, Cyber-Physical Systems, ProVarMod4CPS, Software Product Line, Variability Modeling.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVAÇÃO.....	8
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.3 DELIMITAÇÃO DE ESCOPO.....	14
1.4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	16
1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	17
1.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	20
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>22</b>
2.1 SISTEMAS CIBER-FÍSICOS (SCF).....	22
2.1.1 Definições de SCF.....	23
2.1.2 Características principais de SCF.....	25
2.1.3 Tipos e arquiteturas de SCF.....	30
2.2 LINHA DE PRODUTO DE SOFTWARE (LPS).....	37
2.2.1 Gerenciamento em LPS.....	42
2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	51
<b>CAPÍTULO 3 - TRABALHOS RELACIONADOS.....</b>	<b>53</b>
3.1 TRABALHOS RELACIONADOS.....	53
3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO.....	91
<b>CAPÍTULO 4 - ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA.....</b>	<b>93</b>
4.1 CONCEITOS SOBRE MÉTODOS DE PESQUISA SELECIONADOS.....	93
4.1.1 Atividades da <i>Design Science Research (DSR) for Information Systems</i> .....	94
4.1.2 Estudos secundários e tipos de classificações.....	95
4.1.3 Fases de experimentos e estudos empíricos.....	96
4.1.4 Pesquisa e métodos de análise qualitativos.....	98

4.1.5	Método para avaliar a aceitação de tecnologia .....	99
4.1.6	Métodos para avaliar o projeto e a modelagem de processos de software 99	
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	100
4.3	ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....	100
4.3.1	Identificar o Problema & Motivação .....	103
4.3.2	Definir os Objetivos de uma Solução.....	110
4.3.3	Projetar e Desenvolver .....	114
4.3.4	Demonstrar.....	121
4.3.5	Avaliar .....	135
4.3.6	Comunicar .....	140
4.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....	142
<b>CAPÍTULO 5 - PROCESSO PARA MODELAGEM DE VARIABILIDADES DE SISTEMAS CIBER-FÍSICOS .....</b>		<b>143</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROVARMOD4CPS.....	143
5.1.1	 Subprocesso: Modelagem de Variabilidades de Características de SCF 152	
5.2	 ARTEFATO: REPRESENTAÇÃO DO <i>FEATURE MODEL</i> .....	155
5.3	 ARTEFATO: ESPECIFICAÇÃO DAS DIRETRIZES ( <i>GUIDELINES</i> ) .....	159
5.3.1	 Artefato: <i>Guidelines</i> (Diretrizes) .....	162
5.4	 ARTEFATO: ELABORAÇÃO DO <i>CHECKLIST</i> .....	185
5.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....	188
<b>CAPÍTULO 6 - AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE.....</b>		<b>189</b>
6.1	NÍVEL DE CONHECIMENTO DOS ESPECIALISTAS .....	189
6.2	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	191
6.2.1	Análise do projeto piloto .....	194
6.2.2	Análise da avaliação.....	203
6.3	AMEAÇAS À VALIDADE DA AVALIAÇÃO .....	213
6.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....	215
<b>CAPÍTULO 7 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO.....</b>		<b>216</b>
7.1	NÍVEL DE CONHECIMENTO DOS ESPECIALISTAS .....	216
7.2	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	217
7.2.1	Análise qualitativa.....	219

7.3	AMEAÇAS À VALIDADE DA AVALIAÇÃO .....	230
7.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....	231
<b>CAPÍTULO 8 - CONCLUSÃO.....</b>		<b>232</b>
8.1	RELEVÂNCIA DA PESQUISA .....	232
8.2	CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA.....	234
8.3	LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	236
8.4	TRABALHOS FUTUROS .....	238
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>240</b>
<b>APÊNDICE A - DOCUMENTAÇÃO PROVARMOD4CPS .....</b>		<b>257</b>
A.1	PROACTIVE VARIABILITY MODELING PROCESS FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS (PROVARMOD4CPS) .....	258
A.2	 ARTEFATO: <i>CHECKLIST</i> .....	267
<b>APÊNDICE B - DOCUMENTOS DA AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE .....</b>		<b>281</b>
B.1	AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DOS ARTEFATOS PRELIMINARES: DIRETRIZES E <i>FEATURE MODEL</i> .....	281
B.2	TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) .....	282
B.3	QUESTIONÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DE PERFIL .....	284
B.4	QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO (TAM) DAS DIRETRIZES E O <i>FEATURE MODEL</i> .....	286
<b>APÊNDICE C - DOCUMENTOS DA AVALIAÇÃO DO PROCESSO .....</b>		<b>289</b>
C.1	CONVITE DE PARTICIPAÇÃO: E-MAIL .....	289
C.2	ROTEIRO INTERATIVO PARA PARTICIPAÇÃO DO ESTUDO.....	291
C.3	TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) .....	293
C.4	TERMO DE COMPROMISSO DE UTILIZAÇÃO DE DADOS (TCUD) .....	296
C.5	QUESTIONÁRIO QUALTRICS: TREINAMENTO DA AVALIAÇÃO DO PROVARMOD4CPS .....	297
C.6	QUESTIONÁRIO QUALTRICS: AVALIAÇÃO DO PROVARMOD4CPS .....	309
<b>ANEXO A - LINHA DE PRODUTO DE SOFTWARE ARABLE FARMING (<i>FEATURE MODEL</i>) .....</b>		<b>324</b>
<b>ANEXO B - LINHA DE PRODUTO DE SOFTWARE SMART STREET LIGHT .....</b>		<b>333</b>
<b>ANEXO C - TERMINOLOGIA DE LPS COM BASE NAS ISO/IEC 26550:2015 E ISO/IEC 26560:2019 .....</b>		<b>337</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases da pesquisa.....	17
Figura 2. Estrutura deste documento.....	18
Figura 3. Abstrações e relações entre às áreas de IoT, SCF e a engenharia. Traduzido de Hehenberger <i>et al.</i> (2016). .....	22
Figura 4. Modelo conceitual do <i>framework</i> NIST. Traduzido de Griffor <i>et al.</i> (2017).....	24
Figura 5. Características de Sistemas Ciber-Físicos (SCF). .....	25
Figura 6. NIST SCF <i>Framework</i> . Traduzido de Griffor <i>et al.</i> (2017).....	30
Figura 7. Capacidades de um SCF e SPCF. Traduzido de Cardin (2019).....	32
Figura 8. Facetas da arquitetura 5C em SCF. Traduzido de Lee <i>et al.</i> (2015). .....	33
Figura 9. Arquitetura 8C. Traduzido de Jiang (2018).....	35
Figura 10. Arquitetura típica de um SACF. Traduzido de An <i>et al.</i> (2017).....	36
Figura 11. Atividade essenciais da engenharia de LPS. Traduzido de Northrop e Clements (2012).....	38
Figura 12. <i>Framework</i> de engenharia de LPS. Traduzido de Pohl e Metzger (2018). .....	39
Figura 13. Framework de engenharia de LPS (POHL <i>et al.</i> , 2005) atualizado pelo modelo de processo Promote-pl (KRÜGER <i>et al.</i> , 2020). Traduzida e adaptada de Krüger <i>et al.</i> (2020).....	41
Figura 14. Atividade de gerenciamento da engenharia de LPS. Traduzido de Northrop e Clements (2012).....	42
Figura 15. Exemplo de uma configuração do <i>feature model</i> do <i>Public Street Light</i> (Anexo B). Adaptada de Kneer e Kamsties (2016).....	49
Figura 16. Tipos de variabilidades em SCF. Traduzido de Krüger <i>et al.</i> (2017).....	51
Figura 17. Principais Projetos de Pesquisa, seus Trabalhos Relacionados e Locais. Em ordem de proximidade com o ProVarMod4CPS. ....	54
Figura 18. Projeto <i>Mastering Variability in Software-Intensive Cyber-Physical Production Systems</i> . .....	61
Figura 19. Projeto MPM4CPS.....	69
Figura 20. Relatório Técnicos - Siemens AG. ....	74
Figura 21. Projeto <i>Zen-Configurator</i> .....	76
Figura 22. Projetos AETHER-US e AETHER-UCLM.....	79
Figura 23. Estratégia de pesquisa. Adaptado de Peffers <i>et al.</i> (2007).....	102
Figura 24. Primeira Atividade - 1. Identificar o Problema & Motivação. ....	103
Figura 25. Segunda Atividade - 2. Definir os Objetivos de uma Solução.....	112
Figura 26. Terceira Atividade - 3. Projetar e Desenvolver. ....	115
Figura 27. Quarta Atividade - 4. Demonstrar.....	123

Figura 28. Objetivos de cada estudo empírico. ....	124
Figura 29. Processo com fases desta avaliação qualitativa de viabilidade. ....	125
Figura 30. Processo com fases desta avaliação qualitativa sobre o ProVarMod4CPS. ....	129
Figura 31. Quinta Atividade - 5. Avaliar. ....	136
Figura 32. Sexta Atividade - 6. Comunicar. ....	141
Figura 33. Tipos de variabilidades em SCF. Adaptada de Krüger <i>et al.</i> (2017). ....	144
Figura 34. Logotipo do ProVarMod4CPS e seus artefatos (antena do robô). ....	145
Figura 35. ProVarMod4CPS - Processo Primário. ....	146
Figura 36. Associação do ProVarMod4CPS com o Modelo de Variabilidade de Domínio na engenharia de LPS de Pohl <i>et al.</i> (2005), bem como a relação com o modelo de processo da engenharia moderna de LPS por Krüger <i>et al.</i> (2020) (Promote-pl). ....	151
Figura 37.  Subprocesso ProVarMod4CPS - Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational Variabilities (OV) of CPS Features. ....	153
Figura 38.  <i>ProVarMod4CPS - Feature Model - Technical Variabilities (TV) - Primeira Parte.</i> ....	157
Figura 39.  <i>ProVarMod4CPS - Feature Model - Technical Variabilities (TV) - Segunda Parte.</i> ....	157
Figura 40.  <i>ProVarMod4CPS – Feature Model – Organizational Variabilities (OV) – Terceira Parte.</i> ....	157
Figura 41. Trecho da LPS Arable Farming (NISPEN, 2018) para ilustrar a <i>TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components</i> na <i>checklist</i> (Tabela 23 (tabela anterior)). ....	186
Figura 42. Relações dos artefatos contidos no Subprocesso do ProVarMod4CPS. ....	187
Figura 43. Rede com Associações à Codificação <u>Facilidade de Uso</u> - Projeto Piloto. ....	194
Figura 44. Rede com Associações à Codificação <u>Utilidade</u> - Projeto Piloto. ....	195
Figura 45. Rede com Associações à Codificação <u>Intenção de Uso Futuro</u> - Projeto Piloto. ....	195
Figura 46. Rede com Associações à Codificação <u>Aspectos Positivos</u> - Projeto Piloto. ....	196
Figura 47. Rede com Associações à Codificação <u>Aspectos Positivos - Diretrizes</u> - Projeto Piloto. ....	197
Figura 48. Rede com Associações à Codificação <u>Aspectos Positivos - Modelo de Características</u> ( <i>Feature Model</i> )- Projeto Piloto. ....	197
Figura 49. Rede com Associações à Codificação <u>Limitações - Diretrizes</u> - Projeto Piloto. ....	199
Figura 50. Rede com Associações à Codificação <u>Limitações - Modelo de Características</u> ( <i>Feature Model</i> ) - Projeto Piloto. ....	199
Figura 51. Rede com Associações à Codificação <u>Recomendações de Uso</u> - Projeto Piloto. ....	200
Figura 52. Rede com Associações à Codificação <u>Recomendações de Melhoria</u> - Projeto Piloto. ....	200

Figura 53. Rede com as Associações à Categoria <u>Sugestões de Melhoria</u> - Projeto Piloto. .....	201
Figura 54. Rede com as Associações à Categoria <u>Sugestões de Melhoria - Diretrizes</u> - Projeto Piloto.....	202
Figura 55. Rede com Associações à Codificação <u>Facilidade de Uso</u> - Especialistas. ....	203
Figura 56. Rede com Associações à Codificação <u>Utilidade</u> - Especialistas.....	204
Figura 57. Rede com Associações à Codificação <u>Intenção de Uso Futuro</u> - Especialistas.	205
Figura 58. Rede com Associações à Codificação <u>Aspectos Positivos - Diretrizes</u> - Especialistas. ....	205
Figura 59. Rede com Associações à Codificação <u>Aspectos Positivos - Modelo de <u>Características</u> (<i>Feature Model</i>)</u> - Especialistas.....	206
Figura 60. Rede com Associações à Codificação <u>Limitações - Diretrizes</u> - Especialistas...	207
Figura 61. Rede com Associações à Codificação <u>Limitações - Modelo de Características (<i>Feature Model</i>)</u> - Especialistas. ....	208
Figura 62. Rede com Associações à Codificação <u>Recomendações de Uso</u> - Especialistas. .....	209
Figura 63. Rede com Associações à Codificação <u>Recomendações de Melhoria</u> - Especialistas. ....	210
Figura 64. Rede com as Associações à Categoria <u>Sugestões de Melhoria</u> - Especialistas.	211
Figura 65. Rede com as Associações à Categoria <u>Sugestões de Melhoria - Diretrizes</u> - Especialistas. ....	212
Figura 66. Rede com Associações à Codificação Tipo da Característica e Recomendações de Melhoria. ....	220
Figura 67. Rede com Associações à Codificação Sugestões de Características. ....	221
Figura 68. Rede com Associações à Codificação Exemplos de Implementação - TVs e OVs / Recomendações de Melhoria. ....	222
Figura 69. Rede com Associações à Codificação Tarefas do Subprocesso - ProVarMod4CPS.....	223
Figura 70. Rede com Associações à Codificação Utilização do ProVarMod4CPS na Indústria. ....	226
Figura 71. Rede com Associações à Codificação Sugestões de Melhoria - ProVarMod4CPS. .....	228
Figura 72. ProVarMod4CPS. ....	258
Figura 73.  ProVarMod4CPS Subprocess - Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational Variabilities (OV) of CPS Features.....	264
Figura 74. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.1. Reactive Behavior....	267
Figura 75. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.2. Concurrency. ....	268

Figura 76. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.3. Real-Time Computation. .....	269
Figura 77. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity. ....	272
<b>Figura 78. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components. ....</b>	<b>274</b>
Figura 79. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.8. Dynamic Topological Structure.....	276
Figura 80. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a OV.1. Life Cycle X Automation Levels.....	278
Figura 81. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a OV.2. Cloud Computing.....	279
Figura 82. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a OV.3. Cross-Cutting Aspects. .....	280
Figura 83. <i>Feature Model</i> da LPS <i>Arable Farming</i> (NISPEN, 2018).....	324
Figura 84. Soluções das empresas Illumination Concepts (à esquerda) e Siemens (à direita). Adaptado de Kneer e Kamsties (2016). ....	333
Figura 85. <i>Feature Model</i> da LPS <i>Smart Street Light</i> . Adaptado de Kneer e Kamsties (2016). .....	334
Figura 86. <i>Feature Model</i> da LPS <i>Smart Street Light</i> modelado na FeatureIDE. Adaptado da Figura 85.....	336

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Trabalhos Relacionados entre SCF, LPS e GV comparados com o ProVarMod4CPS.....	56
Tabela 2. Trabalhos Relacionados indiretamente com o ProVarMod4CPS.....	82
Tabela 3. Autores e origem das características de SCF identificadas na literatura. ....	117
Tabela 4. Características adaptadas da literatura no artefato Diretrizes do ProVarMod4CPS. ....	119
Tabela 5. Restrições das características do <i>ProVarMod4CPS – Feature Model</i> . ....	158
Tabela 6. Artefato <i>Guidelines</i> . Exemplo de Tarefas e Artefatos – <i>TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components</i> . ....	159
Tabela 7. Artefato <i>Guidelines</i> . Exemplo – TV.6 – DEF6. CPS Components .....	160
Tabela 8. Artefato <i>Guidelines</i> . Exemplo – TV.6 – GUI6. CPS Components. ....	160
Tabela 9. Artefato <i>Guidelines</i> . Exemplo – TV.6 – MR6. Modeling Recommendation. ....	161
Tabela 10. Artefato <i>Guidelines</i> . Exemplo – TV.6 – FC6. Feature Model Constraints.....	161
Tabela 11. Artefato <i>Guidelines</i> . Exemplo – TV.6 – FA6. Feature Attributes. ....	161
Tabela 12. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - TV.1. Reactive Behavior. ....	162
Tabela 13. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - TV.2. Concurrency. ....	164
Tabela 14. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - TV.3. Real-Time Computation.....	166
Tabela 15. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - TV.4. Security and Resiliency. ....	168
Tabela 16. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity. ....	170
Tabela 17. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components.....	172
Tabela 18. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - TV.7. Verification & Validation (V&V). ..	175
Tabela 19. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - TV.8. Dynamic Topological Structure. ...	177
Tabela 20. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - OV.1. Life Cycle X Automation Levels..	179
Tabela 21. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - OV.2. Cloud Computing. ....	181
Tabela 22. Especificação da Diretriz ( <i>Guideline</i> ) - OV.3. Cross-Cutting Aspects. ....	183
Tabela 23. Exemplo de aplicação da <i>Checklist - TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components</i> . ....	186
Tabela 24. Dados de Perfil dos Especialistas desta Avaliação. ....	189
Tabela 25. Teste <i>Cronbach's Alpha</i> - Projeto Piloto. ....	191
Tabela 26. Teste <i>Cronbach's Alpha</i> - Avaliação efetiva. ....	192
Tabela 27. Dados de Perfil dos Especialistas desta Avaliação. ....	216
Tabela 28. Teste <i>Cronbach's Alpha</i> - Questionário. ....	218
Tabela 29. <i>Checklist</i> - TV.1. Reactive Behavior. ....	267

Tabela 30. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - TV.1. Reactive Behavior. ....	267
Tabela 31. <i>Checklist</i> - TV.2. Concurrency.....	268
Tabela 32. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - TV.1. Reactive Behavior. ....	268
Tabela 33. <i>Checklist</i> - TV.3. Real-Time Computation.....	269
Tabela 34. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - TV.3. Real-Time Computation.....	269
Tabela 35. <i>Checklist</i> - TV.4. Security and Resiliency. ....	270
Tabela 36. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - TV.4. Security and Resiliency. ....	270
Tabela 37. <i>Checklist</i> - TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity.....	271
Tabela 38. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity.....	271
Tabela 39. <i>Checklist</i> - TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components.....	273
Tabela 40. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components.....	273
Tabela 41. <i>Checklist</i> - TV.7. Verification & Validation (V&V). ....	275
Tabela 42. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - TV.7. Verification & Validation (V&V). ....	275
Tabela 43. <i>Checklist</i> - TV.8. Dynamic Topological Structure.....	276
Tabela 44. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - TV.8. Dynamic Topological Structure. ....	276
Tabela 45. <i>Checklist</i> - OV.1. Life Cycle X Automation Levels. ....	277
Tabela 46. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - OV.1. Life Cycle X Automation Levels....	277
Tabela 47. <i>Checklist</i> - OV.2. Cloud Computing.....	279
Tabela 48. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - OV.2. Cloud Computing. ....	279
Tabela 49. <i>Checklist</i> - OV.3. Cross-Cutting Aspects.....	280
Tabela 50. Exemplo de Aplicação da <i>Checklist</i> - OV.3. Cross-Cutting Aspects. ....	280
Tabela 51. Descrições das características para a categoria Hardware. Traduzido na íntegra de Nispen (2018).....	325
Tabela 52. Descrições das características para a categoria Communication. Traduzido na íntegra de Nispen (2018).....	326
Tabela 53. Descrições das características para a categoria Platform. Traduzido na íntegra de Nispen (2018).....	329
Tabela 54. Descrições das características para a categoria Services. Traduzido na íntegra de Nispen (2018).....	330
Tabela 55. Características principais e restrições das variações da LPS <i>Smart Street Light</i> . Adaptado de Kneer e Kamsties (2016).....	334
Tabela 56. Descrições das características ( <i>features</i> ) da LPS <i>Smart Street Light</i> . Traduzido e Adaptado de Kneer e Kamsties (2016).....	335
Tabela 57. Terminologia de LPS com base na ISO/IEC 26550:2015 (ISO/IEC, 2015). ....	337
Tabela 58. Terminologia de LPS com base na ISO/IEC 26560:2019 (ISO/IEC, 2019). ....	338

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

7PMG	<i>Seven Process Modeling Guidelines</i>
ACC	<i>Adaptive Cruise Control</i>
AG	<i>Aktiengesellschaft</i> (em português, Sociedade Anônima (SA))
AGV	<i>Automatic Guided Vehicle</i>
CBFM	<i>Cardinality-Based Feature Modelling</i>
CE	Critérios de Exclusão
CI	Critérios de Inclusão
CMS	<i>Crisis Management System</i>
CMU	<i>Carnegie Mellon University</i>
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
CSP	<i>Constraint Satisfiability Problem</i>
CVL	<i>Common Variability Language</i>
DSL	<i>Domain Specific Language</i>
DSPL	<i>Dynamic Software Product-Line</i>
EA	Engenharia de Aplicação
ECoVaDeVa	<i>Efficient Software Controller Variant Development and Validation</i>
ECU	<i>Engine Control Unit</i>
ED	Engenharia de Domínio
EFM	<i>Environmental Feature Model</i>
EFMFT	<i>Environmental Feature Model Failure Tree</i>
EMBrACE	<i>Environment for model-based rigorous adaptive co-design and operation of CPS</i>
ERTMS	<i>European Rail Traffic Management System</i>
ETCS	<i>European Train Control System</i>

FMIS	<i>Farm Management Information Systems</i>
FODA	<i>Feature-Oriented Domain Analysis</i>
FPD	<i>Formal Process Description</i>
GPES	Grupo de Pesquisa em Engenharia de Software
GQM	<i>Goal Question Metric</i>
GTR-CPSPL	<i>Guidelines to Reuse Cyber-Physical Software Product Line</i>
GV	Gerenciamento de Variabilidades
ICS	<i>Integrated Control Systems</i>
iCyPhy	<i>Industrial Cyber-Physical Systems Center</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LPS	Linha de Produto de Software
MBSE	<i>Model Based System Engineering</i>
MVVM	<i>Multi-View Variability Model</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NSF	<i>National Science Foundation</i>
OCL	<i>Object Constraint Language</i>
OpenCPS	<i>Open Cyber-Physical System Model-Driven Certified Development</i>
OVM	<i>Orthogonal Variability Model</i>
P&D&I	Programas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PPGla	Programa de Pós-Graduação em Informática
PPR	<i>Product-Process-Resources</i>
PRAISE	<i>Product-line Realization and Assessment in Industrial Settings</i>
ProVarMod4CPS	<b><i>Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems</i></b>

PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
QPs	Questões de Pesquisa
RE	<i>Requirements Engineering</i>
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
REVaMP	<i>Round-trip Engineering and Variability Management Platform and Process</i>
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SaaS	<i>Software as a Service</i>
SACF	Sistemas de Agricultura Ciber-Físicos
SCF	Sistemas Ciber-Físicos
SCFA	Sistemas Ciber-Físicos Automotivo
SCFE	Sistemas Ciber-Físicos de Energia
SCFI	Sistemas Ciber-Físicos Industriais
SCFM	Sistemas Ciber-Físicos Médico
SCFT	Sistemas Ciber-Físicos de Transporte
SEI	<i>Software Engineering Institute</i>
SGB	<i>Smart Green Buildings</i>
SPCF	Sistemas de Produção Ciber-Físicos
SPL	<i>Software Product Line</i>
SPLC	<i>Software Product Line Conference</i>
TAM	<i>Technology Acceptance Model</i>
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
VM	<i>Variability Management</i>
VMT	<i>Variability Modeling Technique</i>

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 é uma revolução industrial que abrange transformações tecnológicas e digitalização por meio da integração de paradigmas como a Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), e novos tipos de sistemas de engenharia, como os Sistemas Ciber-Físicos (SCF) (HERMANN *et al.*, 2016; TRAPPEY *et al.*, 2016; WORTMANN *et al.*, 2020; OZTEMEL e GURSEV, 2020).

As principais transformações envolvem o gerenciamento de um alto volume de dados, conectividade, capacidade analítica, interação humana no processo e transferência de informações digitais para o mundo físico (WORTMANN *et al.*, 2020; OZTEMEL e GURSEV, 2020). Diante das transformações, as fábricas inteligentes (*smart factories*) são exemplos de sistemas de produção avançados e interconectados que visam aumentar a produtividade, reduzir custos e escalar o *time-to-market* (WORTMANN *et al.*, 2020; OZTEMEL e GURSEV, 2020). Neste ambiente, os paradigmas de IoT e SCF têm recebido atenção por parte de governos e empresas como meios para compreensão e resolução de problemas (LIAO *et al.*, 2017).

Estudos recentes da literatura apontam dificuldades de compreensão quanto ao posicionamento dos níveis de abstração em relação à aplicação da IoT e SCF na Indústria 4.0, bem como em suas áreas correlatas da engenharia (mecânica, eletrônica e mecatrônica) (HEHENBERGER *et al.*, 2016; LIAO *et al.*, 2017). Em relação à abstração, o conhecimento adquirido ao longo do tempo nessas áreas da engenharia não está tão distante em comparação com o nível de abstração crescente em IoT e SCF. Assim, um tipo de sistema de engenharia específico, como é o caso de SCF, é um caminho para o sucesso da Indústria 4.0 em relação ao gerenciamento e modelagem de objetos inteligentes (HEHENBERGER *et al.*, 2016; LIAO *et al.*, 2017).

Compreender e controlar o comportamento dinâmico de SCF, são desafios presentes durante as fases de arquitetura e projeto desse tipo de sistema na indústria 4.0 (HOFER, 2018). Segundo a *National Science Foundation* (NSF), SCF é um novo tipo de sistema de engenharia e não um novo paradigma tecnológico (NSF, 2018). Um SCF deve garantir a integração e interação entre os componentes ciber (software - sistemas embarcados ou TI) e físicos (hardware - sensores, atuadores,

microcontroladores ou dispositivos) (KHAITAN e MCCALLEY, 2015). Segundo a *National Institute of Standards and Technology* (NIST), um SCF é definido ainda como um sistema com um ou vários dispositivos ou um sistema de sistemas com interações entre dispositivos (GRIFFOR *et al.*, 2017).

No contexto de SCF existem problemas sociais e de engenharia que demandam esforços perante o seu gerenciamento e modelagem (BROY *et al.*, 2012). Estes problemas são descritos como desafios que envolvem a cooperação humana, a aceitação de novas tecnologias, a interdisciplinaridade entre áreas, a integração de modelos arquiteturais, o estabelecimento de normas de engenharia e a melhoria na qualidade da modelagem em SCF (BROY *et al.*, 2012). Os desafios estão presentes no ciclo de vida do desenvolvimento de produtos em SCF, englobando desafios e restrições na inclusão de novas tecnologias, na coleta de requisitos, na arquitetura e projeto, na implementação de software e hardware diferentes na manufatura, na fase de implantação/entrega, bem como na fase de manutenção (BROY e SCHMIDT, 2014; HOFER, 2018).

A convergência entre esses problemas e desafios impactam vários tipos de características (*features*) particulares de SCF em domínios como, por exemplo, em Sistemas de Produção Ciber-Físicos (SPCF) (CARDIN, 2019; RABISER e ZOITL, 2021), Sistemas de Agricultura Ciber-Físicos (SACF) (AN *et al.*, 2017), robótica, robôs na agricultura, veículos aéreos não tripulados, sistemas autônomos (NIELSEN, 2021), médicos, energia, defesa, transporte (RAJKUMAR, 2012; GARCÍA *et al.*, 2020). Os domínios incluem sistemas inteligentes, autônomos para automóveis, cidades inteligentes, dentre outros (MONOSTORI *et al.*, 2016; GREENYER *et al.*, 2019).

Com base nos domínios de SCF, a interoperabilidade e heterogeneidade entre os principais componentes ciber e físicos são diretamente afetadas pelas plataformas, que tentam assegurar que estes componentes se comuniquem utilizando normas (TÖRNGREN *et al.*, 2017; TÖRNGREN e SELLGREN, 2018). No entanto, há uma ampla quantidade de características e vários tipos de características que influenciam a modelagem em SCF (KIM e KUMAR, 2012; MOSTERMAN e ZANDER, 2016; TÖRNGREN *et al.*, 2017).

A complexidade das características (TÖRNGREN e SELLGREN, 2018) pode estar relacionada com características principais de SCF, abrangendo: interoperabilidade, heterogeneidade, sensível a plataforma, comportamento reativo, concorrência, computação em tempo real, segurança e resiliência, privacidade,

verificação e validação, estrutura topológica dinâmica, ciclo de vida, níveis de automação, interações humanas, computação em nuvem, e aspectos transversais (governança, legislação e certificação). Determinadas características são descritas em CyPhERS (2014), Törngren *et al.* (2017), Griffor *et al.* (2017) e são associadas com a literatura de SCF e apresentadas no CAPÍTULO 2.

Por causa da complexidade das características em SCF e interdisciplinaridade neste cenário perante os domínios de SCF, abordagens de gerenciamento e modelagem podem ajudar a representar essas características e reduzir a complexidade em SCF em um contexto incerto e heterogêneo. Abordagens baseadas em reúso, modelos, formais, específicas de domínio, ou a combinação dessas abordagens (multi paradigma ou multi visualização), podem apoiar a modelagem em SCF (BIFFL *et al.*, 2021; RABISER e ZOITL, 2021; FADHLILLAH *et al.*, 2021; BARIŠIĆ *et al.*, 2022).

Abordagens focadas em reutilização de software podem auxiliar na identificação, extração e reutilização de características durante a modelagem em SCF. Os benefícios da reutilização de software oportunista são investigados no trabalho de Mäkitalo *et al.* (2020) sobre como o reúso é aplicado na prática, como os desenvolvedores reutilizam ativos e os impactos arquiteturais causados pelo reúso. Dentre os benefícios estão: “*desenvolvimento rápido, aumento da produtividade, reduz os custos, evita riscos de segurança comuns, estabilidade dos protótipos iniciais e reduz a quantidade de erros*”. Neste contexto, as abordagens de reutilização de software evoluíram para a gerenciamento e modelagem de sistemas da IoT e das partes ciber e físicas (CAPILLA *et al.*, 2019; SAFDAR *et al.* (2020); RABISER e ZOITL, 2021; TEKINERDOGAN *et al.*, 2021a).

A reutilização de software é um paradigma aplicado em novas propostas modernas de modelagem e no desenvolvimento de novos paradigmas tecnológicos, como IoT e SCF. Portanto, o reúso vem sendo explorado e aplicado em diferentes contextos: (i) Linha de Produto de Software (LPS), modelagem de características (*features*) e na análise de contexto, (ii) no reúso de dados abertos (*open data*), (iii) em serviços web e micro serviços, e na (iv) reutilização de ativos na engenharia de sistemas críticos de segurança (CAPILLA *et al.*, 2019). Dentre tais contextos de reúso moderno, as abordagens de reutilização de software podem ser aplicadas no ciclo de vida de sistemas modernos (SCF ou IoT) por possuir a capacidade de lidar e/ou

reutilizar características de sistemas por meio de seus mecanismos e atividades (KRÜGER *et al.*, 2017; KRÜGER *et al.*, 2020; RABISER e ZOITL, 2021).

Há muitas definições para formalizar o conceito de características em reuso de sistemas. O conceito abrange variações de abstrações representadas em um *feature model* com o objetivo de gerir o reuso de sistemas de software por meio das suas funcionalidades e variabilidades (NEŠIĆ *et al.*, 2019; KRÜGER *et al.*, 2019). Neste contexto de reuso, a evolução da engenharia de LPS e os seus mecanismos de modelagem de características reduzem os esforços e minimizam dificuldades durante a modelagem e gerenciamento de SCF (KRÜGER *et al.*, 2017; MEIXNER *et al.*, 2020; RABISER e ZOITL, 2021; FADHLILLAH *et al.*, 2021).

A engenharia de LPS vem se transformando como um paradigma aplicado no meio acadêmico e na indústria nas últimas décadas e é adotado em várias organizações como na Bosch, Toshiba, Philips, Siemens e outras. Ferguson (2018) e Linden *et al.* (2007) citam alguns benefícios de adotar a engenharia de LPS como melhorias no tempo de entrega de produtos, redução dos custos de desenvolvimento, aumento da qualidade do produto e ganhos de produtividade em larga escala. Assim, esse paradigma favorece o reuso de ativos de software em larga escala durante o desenvolvimento de software por meio de *core assets* (NORTHROP e CLEMENTS, 2012; ALMEIDA, 2019; LINDOHF *et al.*, 2021).

A engenharia de LPS permite o desenvolvimento planejado e sistemático de produtos específicos por meio de três atividades bem definidas associadas ao Desenvolvimento do Núcleo de Ativos (Engenharia de Domínio/espço do problema), Desenvolvimento do Produto (Engenharia de Aplicação/espço da solução) e Gerenciamento (técnico e organizacional) (LINDEN *et al.*, 2007; POHL *et al.*, 2005; POHL e METZGER, 2018). A atividade de Gerenciamento de Variabilidades (GV) é uma das principais atividades contidas no Gerenciamento da engenharia de LPS e provê meios para gerenciar ativos comuns e variáveis em LPS (KRUEGER, 2002a).

O *framework* de engenharia de LPS tradicional (POHL e METZGER, 2018) foi atualizado por meio de um modelo de processo chamado *PROcess MOdel for round-Trip Engineering of Product Lines* (Promote-pl) (KRÜGER *et al.*, 2020). O objetivo deste modelo de processo é abranger as estratégias de adoção (proativa, reativa e extrativa) comuns de LPS para modelar sistemas modernos de software (como SCF e IoT), bem como incluir e estender as atividades sistematizadas da engenharia de LPS original de Pohl e Metzger (2018). Considerando as atividades técnicas e

organizacionais, a atividade de GV possibilitou a ascensão e sucesso da engenharia de LPS na indústria por fornecer mecanismos de customização de variabilidades e derivação de produtos diferentes (RAATIKAINEN *et al.*, 2019; BERGER *et al.*, 2020).

Uma característica pode ser mapeada para uma ou mais variabilidades, as quais são aspectos fundamentais de produtos de LPS (LINDEN *et al.*, 2007). Uma Característica (*Feature*) é uma variabilidade com: (i) um aspecto que diferencia um produto de outro (KANG *et al.*, 1990); (ii) uma unidade lógica como requisitos funcionais e não funcionais (BOSCH e LEE, 2010); e (iii) uma variabilidade pode ser considerada uma funcionalidade de sistemas baseada em características (KRÜGER *et al.*, 2018; KRÜGER *et al.*, 2019). Os modelos de variabilidades representam características comuns e variáveis de sistemas (BERGER *et al.*, 2013) e incluem diferentes restrições e dependências que permitem diferenciar e derivar produtos durante diferentes tempos de resolução (tempo de projeto, tempo de execução, tempo de compilação, entre outros) (LINDEN *et al.*, 2007).

Apesar da evolução do reúso, atividades de LPS, conceitos sobre características e variabilidades, ainda há uma grande dificuldade em modelar e gerenciar variabilidades em novos paradigmas tecnológicos como IoT e SCF, mesmo com diversas abordagens de GV identificadas nos estudos secundários de Chen *et al.* (2011), Galster *et al.* (2013) e Raatikainen *et al.* (2019). Vislumbrando a ascensão destas dificuldades, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi conduzida pelo autor desta tese sobre LPS, GV e IoT. Inicialmente, a engenharia de LPS foi investigada quanto a sua aplicação em IoT apoiada pela atividade de GV.

Em síntese, os resultados obtidos nessa RSL discutem: (i) dificuldades de gerenciamento em sistemas da IoT por causa da quantidade de variabilidades; (ii) ausência de especificações detalhadas de abordagens que aplicam LPS e GV em IoT; (iii) ausência de diretrizes para guiar a modelagem e o GV em sistemas da IoT; e (iv) o tipo de representação mais comum para modelar sistemas da IoT, chamado de *feature model* (GERALDI *et al.*, 2020). Ao aplicar a engenharia de LPS, supõe-se que a atividade de GV, pode minimizar as dificuldades no gerenciamento e melhorar a produtividade durante o desenvolvimento customizado de sistemas da IoT (GERALDI *et al.*, 2020).

Cerca de uma dezena estudos da literatura citam Geraldi *et al.* (2020) e acreditam na aplicação dos conceitos de LPS e GV em IoT<sup>1</sup>, se aproximando de SCF (foco desta pesquisa). Por exemplo, no estudo de Cañete *et al.* (2022) é explorada a representação de modelos de características multicamadas e suas variabilidades para a implantação (*deployment*) de aplicações de IoT no domínio de infraestrutura baseada em computação de borda. Variabilidades de infraestrutura são modeladas por meio dos modelos de características multicamadas nas camadas de hardware e software (CAÑETE *et al.*, 2022).

Além da interseção de LPS e GV em sistemas da IoT, Motta *et al.* (2020) definem os sistemas da IoT por meio de aspectos e facetas para a especificação, projeto e implementação desses de sistemas por equipes de projeto. A ideia de facetas também é aplicada no estudo de Andrade *et al.* (2021) com a proposta de uma infraestrutura IoT sensível a adaptação com apoio de múltiplas facetas (descoberta, contexto, gerenciamento e processo sensível a adaptação). Porém, os trabalhos de Motta *et al.* (2020) e Andrade *et al.* (2021) não aplicam a engenharia de LPS e o GV em sistemas da IoT.

A modelagem de variabilidades sistemas da IoT não é uma atividade trivial quando comparada à dificuldade em modelar e gerenciar variabilidades em SCF. A problemática em SCF está na intersecção em relação à complexidade envolvida em lidar no gerenciamento e modelagem das partes ciber e física perante a quantidade de variações e características onipresentes (TÖRNGREN e SELLGREN, 2018; RABISER e ZOITL, 2021). Portanto, é fundamental compreender os princípios da modelagem de características em LPS (NESIC *et al.*, 2019) para a resolução de problemas durante a modelagem de novos sistemas (SCF) (BERGER *et al.*, 2020).

O conceito de variabilidade de LPS aplicado em SCF está associado com características heterogêneas e complexas diretamente impactadas por interações de hierárquicas e de comportamento em ambientes inteligentes (por exemplo, agricultura e cidades inteligentes) que são gerenciadas por meio da modelagem e gerenciamento de variabilidades (KRÜGER *et al.*, 2017; RABISER e ZOITL, 2021). Krüger *et al.* (2017) apresentaram desafios e questões de pesquisa abertas para a modelagem de aspectos de variabilidades de SCF levando em consideração esse cenário.

---

<sup>1</sup> Citações Geraldi *et al.* (2020) - Google Scholar: <https://scholar.google.com.br/scholar?oi=bibs&hl=pt-BR&cites=10285837623204903017>

É importante ressaltar que Krüger *et al.* (2017) realizaram uma classificação preliminar de aspectos de variabilidade, mas não resolveram os problemas de modelagem associados a variabilidades de SCF. Os aspectos englobam: variabilidade em componentes (por exemplo, *hardware* e comportamento), contexto (por exemplo, ambiente e requisitos), tempo (por exemplo, tempo de projeto e tempo de execução), hierarquia (por exemplo, intermodelo e intramodelo), e qualidade (por exemplo, desempenho e segurança).

Apesar do trabalho de Krüger *et al.* (2017), apenas em 2019 nos Seminários Dagstuhl 19071 e 19191, houve uma discussão encorajando a investigação dos problemas na especificação de SCF modernos e no gerenciamento de variabilidades em tempo e espaço para a evolução do software (DESHMUKH *et al.*, 2019; BERGER *et al.*, 2019). Berger *et al.* (2020) destacam a adoção de abordagens sistemáticas de GV na indústria para verificar como LPS tem sido aplicado na prática.

Os estudos de Meixner *et al.* (2019) e Meixner *et al.* (2020) apresentam um processo representando a atividade de modelagem de variabilidades para produtos e recursos envolvidos em SPCF. Para evoluir SPCF, Rabiser e Zoitl (2021) descrevem um projeto de pesquisa e discutem questões de pesquisa, objetivos, desafios e dificuldades em como "*dominar variabilidades em SPCF*" de forma sistemática considerando várias disciplinas da engenharia e a falta de abordagens.

Rabiser e Zoitl (2021) destacam a modelagem de variabilidades em SPCF como um objetivo de pesquisa aberto e multidisciplinar, descrevendo a importância dos modelos de características e de decisões para a modelagem de adaptações em SPCF com LPS. Assim, o desenvolvimento de novas abordagens multi passo (SAFDAR *et al.*, 2020) e multi paradigma (TEKINERDOGAN *et al.*, 2021) têm surgido na literatura de SCF, bem como uma abordagem multidimensional para a modelagem específica de SPCF (FADHLILLAH *et al.*, 2021). Este último trabalho está relacionado com a evolução do projeto de pesquisa de Rabiser e Zoitl (2021).

Com base em Krüger *et al.* (2017) e Rabiser e Zoitl (2021), a modelagem de variabilidades das partes (ciber e físico) de SCF é complexa, difícil e desafiadora. Acredita-se que as abordagens que incluem a modelagem (por exemplo, *feature model* e decisão), somadas a atividade de GV, aliadas ao apoio da engenharia moderna de LPS, deveriam ser melhoradas e estendidas para ajudar na modelagem de SCF. É importante destacar que Rabiser e Zoitl (2021) investigam a modelagem de variabilidades em um domínio específico da indústria, neste caso SPCF. Assim,

existem dúvidas sobre a modelagem efetiva nos aspectos de variabilidades de SCF (qualquer domínio) com novas abordagens perante a engenharia de domínio moderna de LPS (KRÜGER *et al.*, 2017; KRÜGER *et al.*, 2020).

Observando as discussões apresentadas por Rabiser e Zoitl (2021) e o ponto em aberto por Krüger *et al.* (2017) sobre a dificuldade da “1. Modelagem de Variabilidades” de SCF, o principal problema desta pesquisa é modelar variabilidades de características principais de SCF em tempo de projeto (*design-time*) e aspectos de qualidade no espaço do problema em SCF e LPS proativamente. Portanto, esta pesquisa pretende responder à seguinte questão de pesquisa: **como modelar variabilidades de características principais de SCF com suporte da engenharia de domínio de LPS com base na estratégia proativa?**

Esta questão de pesquisa foi criada em virtude da necessidade em compreender as principais características de SCF e as suas variabilidades técnicas e organizacionais em termos de tempo projeto (*design-time*) e aspectos de variabilidade de qualidade. Neste sentido, a originalidade desta pesquisa está próxima ao problema de identificar e modelar as características principais de SCF sistematicamente e classificar tais características em variabilidades técnicas e organizacionais. A partir do contexto desta problemática, a solução inédita desta pesquisa emerge por meio da criação de um processo sistemático que provê atividades, tarefas e artefatos para a modelagem proativa e sistemático de características de SCF. A estratégia de adoção proativa é precoce e visa garantir a consistência de características de SCF durante a modelagem que ocorre na engenharia de domínio, posicionada na engenharia moderna de LPS (KRÜGER *et al.*, 2020).

Após isso, de acordo com as discussões de Krüger *et al.* (2017), é possível estender e gerir as variabilidades de ambiente, modelos de variabilidade heterogêneos (diferentes tipos de modelos) e explorar a escalabilidade desses modelos além de garantir a continuidade desta pesquisa.

A relevância do processo e seus artefatos, desenvolvidos nesta pesquisa, é mencionada nas próximas seções que apresentam as principais motivações e objetivos fundamentais desta pesquisa.

## 1.1 Motivação

Esta pesquisa tem como principal motivação explorar a dificuldade na modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais de características principais

em SCF. A complexidade, heterogeneidade e interoperabilidade da modelagem de variabilidades entre as partes ciber e físico são fatores de interesse para a condução desta pesquisa. A interseção entre as partes de SCF é um grande problema por causa das suas muitas variações e características complexas (TÖRNGREN e SELLGREN, 2018).

Em 2021, o futuro da engenharia de software é discutido sob várias vertentes em uma agenda de pesquisa e desenvolvimento pelo *Software Engineering Institute* (SEI) na Carnegie Mellon University (CMU). As áreas foco e objetivos de pesquisa são estimados para os próximos 15 anos. Nos objetivos de pesquisa está o avanço de paradigmas de desenvolvimento e abrange várias áreas de pesquisa. Dentre as áreas, esta pesquisa é alinhada na área que envolve o “*Desenvolvimento de Software por meio da Corretude Composicional*”. Esse tipo de desenvolvimento abrange a otimização e a problemática em lidar com a evolução contínua e mudanças incrementais de SCF (CARLETON *et al.*, 2021). Por exemplo, garantir a qualidade de SCF de segurança crítica considerando suas variações ao longo do tempo.

Antes da publicação da agenda do SEI (2021), há cerca de uma década recomendações estratégicas para a indústria 4.0 foram sintetizadas em um plano estratégico chamado agendaCPS. Este plano aborda o crescimento e os impactos de SCF ao longo dos anos (GEISBERGER e BROY, 2012; KAGERMANN *et al.*, 2013). Em 2019, no seminário Dagstuhl 19071, os pesquisadores discutiram como especificar SCF modernos e seus problemas na Indústria 4.0 em vários domínios como: automotivo, robótica, biologia, dispositivos médicos e cidades inteligentes. Nesses domínios, a especificação da interoperabilidade e heterogeneidade nas partes modernas de SCF são de grande preocupação e interesse para a comunidade científica (TÖRNGREN *et al.*, 2017; TÖRNGREN e SELLGREN, 2018; DESHMUKH *et al.*, 2019). Uma iniciativa importante da comunidade de SPCF nasceu em 2021 no formato de *workshop*, chamado de: *Workshop on Software Engineering in Cyber-Physical Production Systems* (SECPPS). A ideia do workshop é discutir o cenário de pesquisa (*roadmap*) em SPCF por meio de atividades em grupo (*networking*) e fortalecer a comunidade ao longo do tempo (RABISER *et al.*, 2022).

A comunidade tem direcionado esforços na modelagem em SCF por meio de projetos de pesquisa e desenvolvimento internacionais. Esses projetos exploram lacunas com foco no desenvolvimento da área de SCF e envolvem diferentes universidades e indústrias. Estudos primários publicados na literatura a partir desses

projetos fortalecem tal interesse, motivados por desafios em ascensão na modelagem de variabilidades em SCF por meio da engenharia de LPS.

Uma grande quantidade de problemas existe e/ou fora solucionados com esforços investidos para gerenciar e modelar a interoperabilidade e a heterogeneidade em SCF em vários domínios a partir de programas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&D&I) como: ITEA 3 e 4<sup>2</sup>, Horizon 2020<sup>3</sup> e IOF 2020<sup>4</sup>. Nesses programas, projetos de pesquisa foram identificados com maior proximidade com esta pesquisa: Zen-Configurator<sup>5</sup> (SAFDAR *et al.*, 2020), *Multi-Paradigm Modelling for Cyber-Physical Systems* (MPM4CPS<sup>6</sup>) (TEKINERDOGAN *et al.*, 2021) e *Mastering Variability in Software-Intensive Cyber-Physical Production Systems* (RABISER e ZOITL, 2021; GUTIERREZ *et al.*, 2021). Os trabalhos relacionados aos projetos citados são detalhados e comparados com a solução principal desta pesquisa no CAPÍTULO 3. Além dos projetos mencionados, outros projetos relevantes foram identificados na literatura sobre SCF: Ptolemy Project<sup>7</sup> (iCyPhy<sup>8</sup>, centro de pesquisa), INTO-CPS<sup>9</sup>, OpenCPS<sup>10</sup>, REVaMP2<sup>11</sup>, ECoVaDeVa<sup>12</sup>, EMBrACE<sup>13</sup> e PANORAMA<sup>14</sup>.

É importante ressaltar que nenhum dos projetos de pesquisa citados conseguem solucionar completamente a problemática em relação à modelagem de variabilidades das principais características de SCF. Acredita-se que isso ocorre por causa da dificuldade em modelar e gerenciar uma ampla quantidade de variações contidas em SCF (RABISER e ZOITL, 2021). Há uma incongruência na compreensão e/ou falta de entendimento das principais características de SCF perante as pesquisas realizadas na comunidade científica antes mesmo de implementar novas tecnologias ou melhorar tecnologias existentes e em ascensão.

É fundamental compreender os princípios de modelagem de características para resolver problemas diferentes, mesmo considerando a utilização de diferentes

---

<sup>2</sup> ITEA 3 e 4: <https://itea3.org/> e <https://itea4.org/>

<sup>3</sup> Horizon 2020: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>

<sup>4</sup> IOF 2020: <https://www.iof2020.eu/>

<sup>5</sup> Zen-Configurator: <https://www.simula.no/research/projects/zen-configurator-interactive-and-optimal-configuration-cyber-physical-system>

<sup>6</sup> MPM4CPS: <http://mpm4cps.eu/>

<sup>7</sup> Ptolemy Project: <https://ptolemy.berkeley.edu/>

<sup>8</sup> iCyPhy Site: <https://ptolemy.berkeley.edu/projects/icyphy/>

<sup>9</sup> INTO-CPS: <https://projects.au.dk/into-cps/>

<sup>10</sup> OpenCPS: <https://www.opencps.eu/>

<sup>11</sup> REVaMP2: <http://www.revamp2-project.eu/>

<sup>12</sup> ECoVaDeVa: <https://www.flandersmake.be/en/projects/ecovadeva>

<sup>13</sup> EMBrACE: <https://itea3.org/project/embrace.html>

<sup>14</sup> Panorama: <https://www.panorama-research.org/>

tecnologias, ferramentas e abordagens de modelagem ou gerenciamento (NEŠIĆ *et al.*, 2019; BERGER *et al.*, 2020). Essa afirmação é fortalecida em um estudo de caso conduzido na indústria de manufatura (SPCF) por Vogel-Heuser *et al.* (2021), no qual “a atividade sistemática de GV tem sido negligenciada” por especialistas de domínio, mesmo existindo abordagens para modelagem de variabilidades (YUE *et al.*, 2015; VOGEL-HEUSER *et al.*, 2021).

Acredita-se que processos padronizados apoiados por um conjunto de diretrizes e recomendações podem ajudar a compreender e modelar as características ciber e físicas e suas variabilidades (MONOSTORI *et al.*, 2016; TRAPPEY *et al.*, 2016). Também há questionamentos relacionados à falta de critérios padronizados e linguagens para dispositivos médicos, erro humano e nível de confiança em sistemas ciber-humanos, gerenciamento do espaço-tempo e monitoramento distribuído em cidades inteligentes (DESHMUKH *et al.*, 2019).

Desde 2004, o relatório de experiência da Audi AG (Ingolstadt)<sup>15</sup> destacou a ausência de diretrizes de modelagem de uniformes no contexto de sistemas embarcados automotivos (HARDUNG *et al.*, 2004). Atualmente, a *AUTomotive Open System ARchitecture* (AUTOSAR) mantém uma parceria mundial organizada pela indústria automotiva e fornece uma solução específica de *framework* para o setor com um conjunto de relatórios com padrões, normas, regras e diretrizes bem definidas.

Tendo em vista o projeto AUTOSAR, ainda há uma falta de processos, diretrizes, modelos, métodos ou frameworks para guiar a modelagem das principais características de SCF, principalmente, em vários domínios além do automotivo. Embora as abordagens de modelagem possam ajudar a representar características para tentar reduzir a complexidade do SCF (TÖRNGREN e SELLGREN, 2018), a problemática da modelagem e gerenciamento não foi totalmente resolvida. Assim, vários estudos como em Arrieta *et al.* (2015), Krüger *et al.* (2017), Safdar *et al.* (2020), Tekinerdogan *et al.* (2021) e Rabiser e Zoitl (2021) discutem a aplicação dos conceitos de variabilidades da engenharia de LPS como um caminho para modelar variações em novas classes de sistemas, neste caso SCF.

As variações em SCF podem ser descritas para: (i) controlar a rapidez das mudanças de tecnologias em SCF; (ii) gerenciar o comportamento dinâmico em SCF; e (iii) problemas de segurança entre as partes ciber e física (MONOSTORI *et al.*, 2016;

---

<sup>15</sup> Audi AG (Ingolstadt) site: <https://www.audi.de>

VARELA-VACA *et al.*, 2021). A escalabilidade na modelagem de variabilidades em SCF é considerada primordial neste ambiente norteado de incertezas. Por exemplo, as variabilidades em SCF podem ser divididas em camadas com uma taxonomia de variabilidades física, de hardware e de software (ARRIETA *et al.*, 2015). Em adição ao trabalho de Arrieta *et al.* (2015), o estudo Krüger *et al.* (2017) apresenta discussões em como lidar com as variações em SCF com foco em aspectos de variabilidade em SCF no contexto da engenharia de LPS.

Os aspectos de variabilidade incluem: variabilidade de componentes, contexto, hierarquia, qualidade e tempo. Desafios e lacunas na modelagem e gerenciamento são apresentados por Krüger *et al.* (2017) como questões de pesquisa não resolvidas até o momento. Metzger e Pohl (2014) e Becker e Zhang (2018) complementam com desafios relacionados às abordagens de LPS para a atividade de GV na integração em diferentes disciplinas da engenharia na indústria (automotiva, mecânica e eletrônica), abrangendo a complexidade, customização de produtos e gerenciamento do ciclo de vida. Assim, os aspectos de variabilidade de SCF em LPS e o contexto dessas discussões motivam o desenvolvimento desta pesquisa em modelagem de variabilidades em SCF. O tempo e qualidade são aspectos da variabilidade classificados por Krüger *et al.* (2017) que são essenciais para o desenvolvimento da solução principal e dos artefatos desenvolvidos nesta pesquisa (CAPÍTULO 5).

Além dos aspectos de variabilidade classificados por Krüger *et al.* (2017), a evolução do software por meio de atividades de GV e a modelagem de variabilidades nas dimensões de espaço e tempo (Berger *et al.*, 2019) foram discutidas no Seminário Dagstuhl 19191. Após alguns anos, o projeto de pesquisa de Rabiser e Zoitl (2021) foi delineado para investigar como “*dominar variabilidades em SPCF*” (*Mastering Variability in Software-Intensive Cyber-Physical Production Systems*). Esses três últimos estudos incentivaram a melhoria contínua desta pesquisa perante o cenário tão desafiador da modelagem de variabilidades sistemática em SCF.

Trabalhos do projeto de pesquisa *Zen-Configurator* (Safdar *et al.*, 2020), que propõe um *framework* multi passo para otimizar a configuração de SCF (domínio aquático e de produção de óleo e gás) e, o projeto *Multi-Paradigm Modelling for Cyber-Physical Systems* (MPM4CPS) (TEKINERDOGAN *et al.*, 2021) são trabalhos relacionados que contribuíram com às áreas de SCF e suas variabilidades, fortaleceram esta e outras pesquisas que estão em fase de desenvolvimento na comunidade científica.

Os trabalhos relacionados desses últimos projetos de pesquisa foram realizados na Europa e são comparados com a solução principal desta pesquisa no CAPÍTULO 3. Acredita-se que há a necessidade eminente de evoluir e contribuir com a área de SCF a partir de resultados em outros continentes ou países como no Brasil. Por exemplo, os domínios da agricultura e cidades inteligentes no Brasil necessitam cada vez mais de avanços em paradigmas tecnológicos, dentre eles, está a evolução da área de SCF e suas variabilidades.

Espera-se que os resultados desta pesquisa possam corroborar no projeto de novas pesquisas para minimizar problemas persistentes/recorrentes em SCF como, por exemplo, o problema instigado sobre a dificuldade da modelagem sistemática de variabilidades de características principais de SCF em vários domínios de aplicação. Assim, a próxima seção apresenta os objetivos desta pesquisa.

## 1.2 Objetivos

O **objetivo geral** desta pesquisa é **especificar um processo sistemático para auxiliar na modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais de características principais de SCF com suporte da engenharia de domínio de LPS com base na estratégia proativa**. O processo é intitulado: **Processo Proativo de Modelagem de Variabilidades para Sistemas Ciber-Físicos** ou *Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems* (ProVarMod4CPS).

Para satisfazer o objetivo geral desta pesquisa, os seguintes **objetivos específicos** devem ser atingidos:

- i. Classificar as principais características principais de SCF por meio da criação de um *Feature Model* para permitir a identificação e seleção de variabilidades das características;
- ii. Especificar diretrizes com recomendações para modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais de características principais de SCF em tempo de projeto (*design-time*) de domínio com base nas características de qualidade do modelo (item i);
- iii. Elaborar um *checklist* para guiar pesquisadores e profissionais na modelagem de variabilidades de características principais de SCF utilizando o *Feature Model* (item i) e as Diretrizes (item ii);
- iv. Avaliar o processo ProVarMod4CPS e seus artefatos.

### 1.3 Delimitação de escopo

Esta pesquisa abrange o desenvolvimento de um processo sistemático para auxiliar na modelagem de variabilidades de características principais de SCF por meio de uma classificação de características (em um *Feature Model*) e a especificação de Diretrizes baseadas na literatura de SCF. O processo, chamado de ProVarMod4CPS, adota a estratégia proativa da engenharia de domínio moderna de LPS (KRÜGER *et al.*, 2020) para guiar na modelagem de variabilidades em SCF. É necessário aperfeiçoar a modelagem de SCF na engenharia de domínio, para então, criar mecanismos de derivação de produtos mais adequados de SCF no contexto da engenharia de aplicação. O CAPÍTULO 5 apresenta o processo e seus artefatos em detalhes.

A engenharia de aplicação não é contemplada nesta pesquisa. O desenvolvimento de uma LPS e a geração de produtos (Engenharia de Aplicação/espço da solução) não está no âmbito do processo e seus artefatos especificados. Por conseguinte, não foram modeladas uma LPS ou uma família de produtos para SCF, mas sim um conjunto das principais características de SCF foram classificadas e organizadas para facilitar a modelagem de SCF. A combinação ou seleção destas características poderia constituir uma LPS, evidenciando as variabilidades técnicas ou organizacionais adaptáveis para um SCF na indústria (por exemplo, agricultura, cidades inteligentes, automobilística, entre outros). As relações de *cross-cutting features* não foram especificadas e validadas para a modelagem de *features* no *feature model* contido no ProVarMod4CPS.

Um plano de produção de LPS será posto em ação no futuro para a aplicação prática do ProVarMod4CPS na indústria. Um novo plano de produção de LPS está em fase de idealização e será abordado em trabalhos futuros (Seção 8.4). Antes do plano de produção de LPS, um processo sistemático de variabilidade pode ser um caminho para modelar SCF na indústria, combinando conceitos de LPS com a *Business Process Modeling Notation* (BPMN). O ProVarMod4CPS é representado utilizando a BPMN para guiar a modelagem de variabilidades por um subprocesso com tarefas e artefatos bem definidos. A BPMN pode facilitar a adoção do ProVarMod4CPS na indústria e estender a modelagem sistemática de variabilidades com os artefatos do ProVarMod4CPS na literatura sobre modelagem de variabilidades de processos de negócio (ROSA *et al.*, 2018; HOFER, 2018; VALDERAS *et al.*, 2022). O processo ProVarMod4CPS (BPMN) têm atividades e tarefas manuais e de usuário. As tarefas

de usuário são dependentes de algum tipo de software e podem ser realizadas com a utilização do artefato *Feature Model* por meio do apoio ferramental da FeatureIDE.

A ferramenta FeatureIDE é simples e útil para a modelagem de características (MEINICKE *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2016) e independente de qualquer domínio de aplicação. Nenhuma ferramenta ou software foi desenvolvida(o) no âmbito desta pesquisa, mas pretende-se em trabalhos futuros (Seção 8.4) iniciar a implementação de um *plug-in* ou ferramenta para apoiar a modelagem de variabilidades de SCF.

A pesquisa não tem como objetivo compreender com profundidade todos os tipos de domínios de aplicação de SCF e de tempo de resolução, mas classificar e garantir o entendimento das principais características em SCF por meio da aplicação de diretrizes na modelagem de variabilidades em SCF em tempo de projeto (*design-time*). Em relação aos tipos de domínios de aplicação, o processo pode ser utilizado em qualquer domínio.

Durante o processo de modelagem, é recomendado que um especialista de domínio esteja trabalhando em conjunto com especialistas de LPS e de SCF. Os artefatos desta pesquisa são limitados nesse contexto e a pesquisa não será aplicada em todos os tipos diferentes de tempos de resolução, por exemplo, tempo de execução (*runtime*). Portanto, esta pesquisa não engloba a automatização do projeto de aplicação (engenharia de aplicação) em tempo de execução, que consiste na derivação de novos produtos em SCF.

As avaliações do processo e seus artefatos ocorreram no meio acadêmico e foram realizadas com pesquisadores e profissionais de LPS nos domínios da agricultura e cidades inteligentes. As avaliações de natureza qualitativa e não tem poder de representação quantitativa em virtude do universo restrito de participantes.

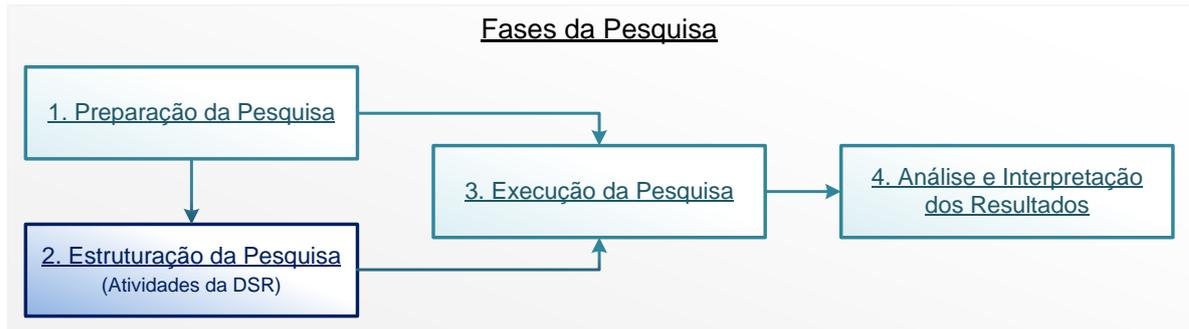
Em relação aos resultados das avaliações, a principal saída foi o *feedback* dos especialistas, com recomendações e sugestões para a melhoria contínua do processo e seus artefatos. Durante as avaliações, os especialistas também realizaram a modelagem das características e de suas variabilidades técnicas e organizacionais perante os domínios de agricultura e cidades inteligentes. A modelagem foi guiada por meio do processo desenvolvido e a aplicação dos seus artefatos, considerando o *Feature Model* e Diretrizes (*Guidelines*). Estas interações dos especialistas durante as avaliações, permitiram caracterizar e avaliar a viabilidade dos artefatos criados nesta pesquisa.

Como trabalhos futuros (Seção 8.4), vislumbra-se modelar domínios distintos em SCF e entregar ativos (se for o caso) no formato de análises de domínio (*feature model*) para os participantes em novas avaliações. Estes ativos devem ser úteis para iniciar um plano de produção por meio da modelagem de novas LPS em SCF. Trabalhos futuros serão conduzidos para avaliar o processo e seus artefatos na indústria (Seção 8.4).

#### 1.4 Processo de desenvolvimento da pesquisa

A condução desta pesquisa está organizada nas fases a seguir (Figura 1):

- Fase 1 – Preparação da Pesquisa: esta fase compreende a condução de duas RSLs (estudos secundários) e uma revisão da literatura. Estas revisões permitem posicionar a viabilidade desta pesquisa perante o estado da arte em IoT, SCF, LPS e GV. Assim, o foco, a delimitação do tema e os objetivos desta pesquisa são definidos com base nos estudos primários e trabalhos relacionados analisados nestas revisões.
- Fase 2 – Estruturação da Pesquisa: define todas as atividades necessárias para a condução desta pesquisa. As atividades são adaptadas da *Design Science Research (DSR) for Information Systems* (PEFFERS *et al.*, 2007). É utilizada como base a Fase 1, as atividades da DSR e realizada a seleção dos métodos de pesquisa pertinentes, bem como a descrição das suas etapas.
- Fase 3 – Execução da Pesquisa: envolve a execução das Fases 1 e 2 desta pesquisa. Na Fase 1, os estudos primários e trabalhos relacionados analisados nas revisões da literatura são úteis para o desenvolvimento dos objetivos desta pesquisa, incluindo o processo e seus artefatos, criados nesta pesquisa. Na Fase 2, estudos empíricos qualitativos (avaliações) são conduzidos para avaliar o processo e seus artefatos.
- Fase 4 – Análise e Interpretação dos Resultados: inclui a apresentação dos resultados obtidos. Dentre os resultados são apresentadas as contribuições e limitações do processo e artefatos desenvolvidos em duas avaliações conduzidas com especialistas em LPS.



**Figura 1. Fases da pesquisa.**

### 1.5 Estrutura do documento

A Figura 2 apresenta a organização deste documento com os capítulos posicionados conforme as atividades adaptadas da DSR (PEFFERS *et al.*, 2007). Em adição, o CAPÍTULO 4 apresenta em detalhes as atividades adaptadas da DSR, utilizadas durante a realização desta pesquisa.

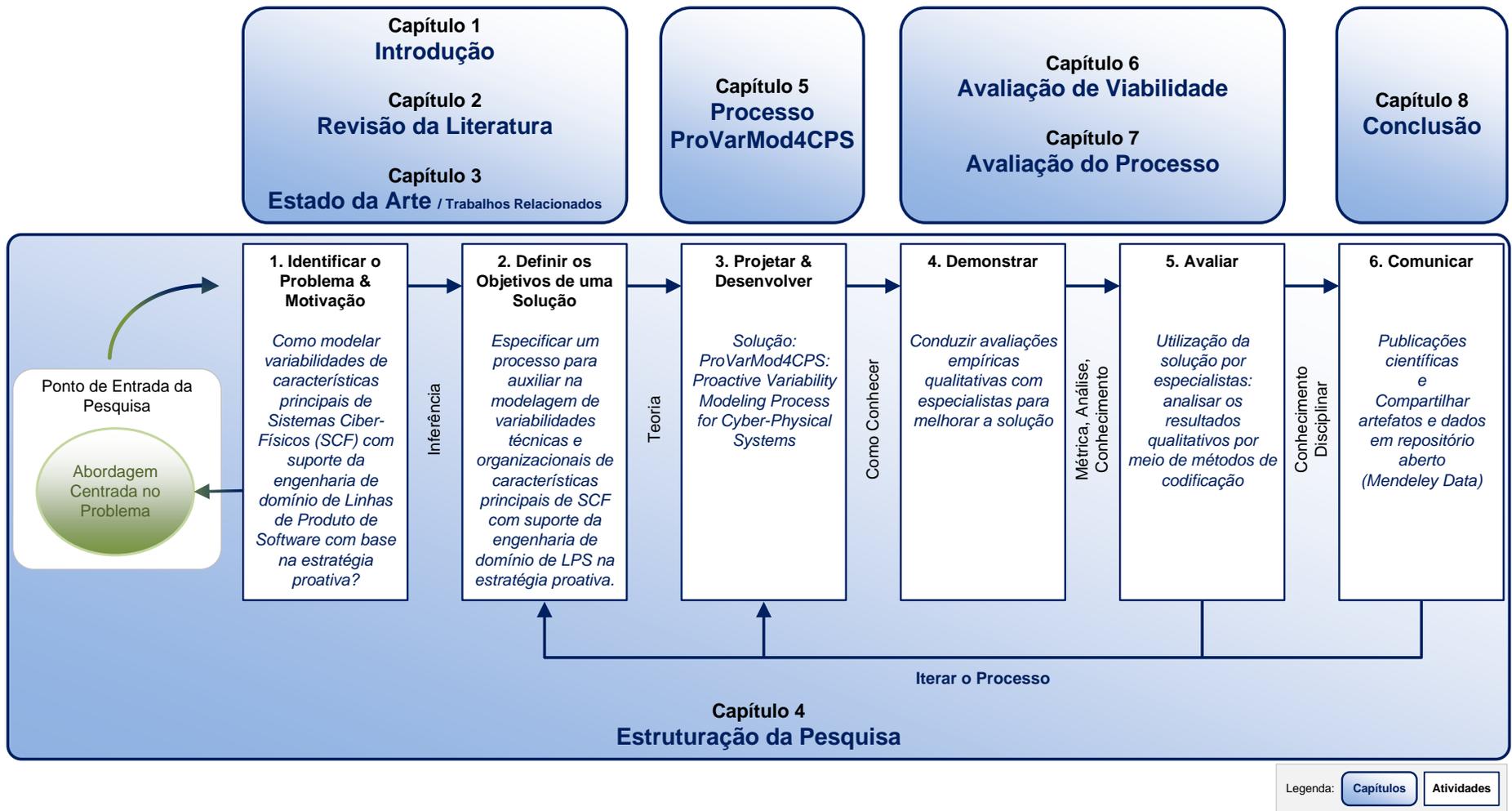


Figura 2. Estrutura deste documento.

O CAPÍTULO 1 apresenta ao leitor o posicionamento desta pesquisa perante o estado da arte de interesse por meio das atividades da DSR de “1. Identificar o Problema & Motivação” e “2. Definir os Objetivos de uma Solução” com a finalidade de viabilizar esta pesquisa para a comunidade científica de SCF e LPS. A questão de pesquisa e os objetivos são apresentados e delimitados, bem como é apresentada uma representação (Figura 2) que abrange as atividades da DSR associadas ao processo de desenvolvimento desta pesquisa.

O CAPÍTULO 2 engloba a revisão da literatura de estudos primários e livros fundamentais sobre os temas de SCF, LPS e GV.

O CAPÍTULO 3 abrange os projetos de pesquisa e seus trabalhos relacionados para identificar semelhanças e diferenças em relação ao processo e artefatos desenvolvidos nesta pesquisa.

O CAPÍTULO 4 consiste na estruturação desta pesquisa em relação ao seu posicionamento metodológico. A estrutura inclui a estratégia de pesquisa baseada nas atividades da DSR e a seleção dos métodos de pesquisa para avaliar o processo e os artefatos criados nesta pesquisa.

O CAPÍTULO 5 descreve a caracterização do processo e seus artefatos por meio da atividade da DSR de “3. Projetar e Desenvolver”, sendo a solução principal desta pesquisa. O processo é concebido com base na revisão da literatura (CAPÍTULO 2) e em trabalhos relacionados selecionados em uma RSL entre SCF, LPS e GV (CAPÍTULO 3). Exemplos de aplicação no domínio da agricultura são apresentados para ilustrar a aplicação do processo e seus artefatos.

O CAPÍTULO 6 apresenta e discute os resultados obtidos em uma avaliação de viabilidade dos artefatos preliminares que contribuíram para emergir o processo criado nesta pesquisa. Esta avaliação permite observar a viabilidade dos artefatos por especialistas de LPS e viabilizar uma nova tecnologia no contexto de SCF.

O CAPÍTULO 7 engloba os resultados em uma avaliação conduzida para caracterizar o processo e seus artefatos, desenvolvidos nesta pesquisa. Esta avaliação permite avaliar e aperfeiçoar os artefatos sob o ponto de vista de especialistas de LPS na modelagem de características nos domínios da agricultura e cidade inteligentes.

Para as avaliações contidas no CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7, a atividade da DSR “4. Demonstrar” especifica o protocolo para a condução das avaliações e, a

atividade “5. Avaliar”, apresenta como os resultados foram analisados e interpretados em ambas as avaliações.

O CAPÍTULO 8 finaliza o trabalho destacando a sua relevância, suas contribuições, limitações, publicações (atividade da DSR “6. Comunicar”), além de apresentar os trabalhos futuros da pesquisa.

O Apêndice A engloba a documentação referente a especificação do ProVarMod4CPS (atividades, tarefas, papéis, artefatos e seu subprocesso) e exemplos de aplicação no domínio da agricultura no artefato *checklist* (em melhoria contínua para avaliação empírica no futuro).

O Apêndice B contém os questionários utilizados na avaliação de viabilidade dos artefatos preliminares desta pesquisa. Dentre os questionários estão os seguintes documentos: (i) Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE); (ii) Questionário de Caracterização de Perfil; e o (iii) Questionário de Avaliação de Viabilidade dos Artefatos Preliminares.

O Apêndice C abrange um conjunto de documentos aplicados na avaliação do processo e seus artefatos nesta pesquisa: (i) Convite de participação (e-mail); (ii) Roteiro Interativo para participação do estudo; (iii) TCLE; (iv) Termo de Compromisso de Utilização de Dados (TCUD); e (v) Questionários de Treinamento e Avaliação do processo e seus artefatos.

O Anexo A apresenta as características da LPS *Arable Farming* (NISPEN, 2018), utilizada para ilustrar a aplicação do processo e seus artefatos no CAPÍTULO 5. O Anexo B apresenta as características da LPS *Smart Street Light* (KNEER e KAMSTIES, 2016), utilizada durante o treinamento dos especialistas na avaliação do processo e seus artefatos no CAPÍTULO 7. O Anexo C apresenta os principais termos de LPS conforme a ISO/IEC 26550:2015 (ISO/IEC, 2015) e ISO/IEC 26560:2019 (ISO/IEC, 2019). Essa terminologia é utilizada para descrever as atividade e/ou tarefas do processo no CAPÍTULO 5.

## **1.6 Considerações sobre o capítulo**

Este capítulo introduziu a Indústria 4.0 e seus principais paradigmas tecnológicos em direção a um novo tipo de sistema de engenharia de difícil modelagem e gerenciamento, chamado de SCF. As variações e incertezas presentes em SCF fazem tal sistema complexo e heterogêneo. Embora haja diversos projetos de pesquisa e trabalhos relacionados que direcionam esforços para modelar e

gerenciar SCF, ainda há muitas variabilidades para lidar e/ou dominar. A engenharia moderna de LPS vem sendo explorada no meio acadêmico e na indústria como um recurso importante para minimizar problemáticas de modelagem e gestão em SCF.

Neste contexto, a atividade de GV em LPS é um mecanismo essencial para apoiar a modelagem sistemática de variabilidades em SCF. Entretanto, esta modelagem em SCF não é uma tarefa fácil e simples, pois os pesquisadores e/ou profissionais devem possuir conhecimento interdisciplinar em ambas as áreas.

Neste sentido, foram apresentadas motivações e lacunas sobre variabilidades em SCF no contexto de LPS, bem como uma introdução ao processo e artefatos criados nesta pesquisa para auxiliar pesquisadores e/ou profissionais na modelagem de variabilidades em SCF em tempo de projeto (*design-time*) de domínio. Na sequência, foram apresentados os objetivos, a delimitação de escopo e as fases do processo de desenvolvimento desta pesquisa.

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta os conceitos e definições essenciais acerca da fundamentação teórica dos temas utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa. Dentre os temas estão Sistemas Ciber-Físicos (SCF), Linha de Produto Software (LPS), Gerenciamento de Variabilidades (GV) e Modelagem de Características.

### 2.1 Sistemas Ciber-Físicos (SCF)

Com o crescimento da Indústria 4.0 por meio da robótica e da manufatura avançada, existe a necessidade de novos sistemas e tecnologias. Dentre estas novas tecnologias está a Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things* (IoT)), que fornece um cenário de coisas interconectadas (sensores ou atuadores), as quais devem ser gerenciadas. Entretanto, a IoT não é um tipo de sistema de engenharia, sendo necessário novos tipos de sistemas que suportem as necessidades da Indústria 4.0. Um SCF é um tipo de sistema que provê suporte à Indústria 4.0 em áreas da engenharia (eletrônica e mecânica) (TRAPPEY *et al.*, 2016).

Segundo Iglesias-Urkia *et al.* (2020) os “dispositivos da IoT são geralmente sistemas embarcados avançados que requerem monitoramento e controle de funcionalidades”. No sentido da abstração entre IoT e SCF, Hehenberger *et al.* (2016) posicionam a IoT em um nível maior de abstração e de complexidade em comparação à SCF, conforme à Figura 3.

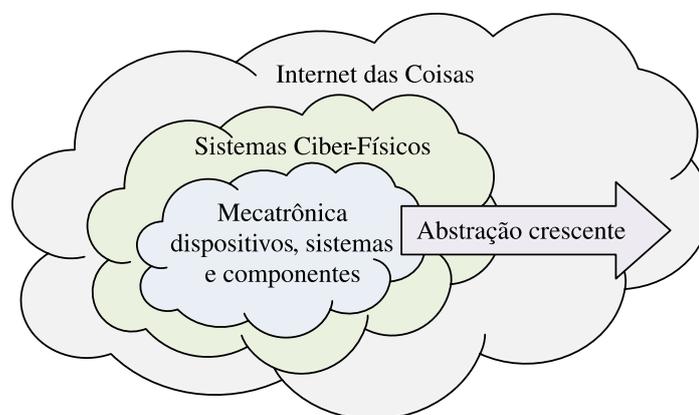


Figura 3. Abstrações e relações entre às áreas de IoT, SCF e a engenharia. Traduzido de Hehenberger *et al.* (2016).

Observa-se na Figura 3 que as áreas de IoT, SCF e de domínios da engenharia são divididas em diferentes níveis de abstração. Conforme o conhecimento de especialistas de domínio aumenta (por exemplo, mecatrônica), o entendimento das áreas de IoT e SCF diminui. A compreensão das incertezas em um tipo de sistema de engenharia, neste caso SCF, é alta e difícil. Apesar das incertezas, um SCF pode ser instanciado considerando suas operações e funções.

Diferentemente, o controle da IoT é incipiente e amplo quanto ao seu universo de coisas desconhecidas em um sistema ou domínio (HEHENBERGER *et al.*, 2016), mesmo apesar da pesquisa de Motta *et al.* (2020) definir os sistemas da IoT por meio de aspectos e facetas para a especificação, projeto e implementação desses sistemas por equipes de projeto. Em adição, Andrade *et al.* (2021) também considera, preliminarmente, a infraestrutura da IoT por meio de múltiplas-facetas.

Ao contrário da abstração das pesquisas de Motta *et al.* (2020) e Andrade *et al.* (2021), o foco desta pesquisa está em modelar SCF por sua proximidade com domínios de aplicação (Seção 2.1.3) e flexibilidade de instanciação. Neste caso, pode-se considerar os domínios da mecatrônica (HEHENBERGER *et al.*, 2016), saúde, agricultura ou cidades inteligentes (MONOSTORI *et al.*, 2016; GREENYER *et al.*, 2019). Conforme apresentado em Iglesias-Urkia *et al.* (2020), as coisas da IoT estão inclusas em SCF e não ao contrário.

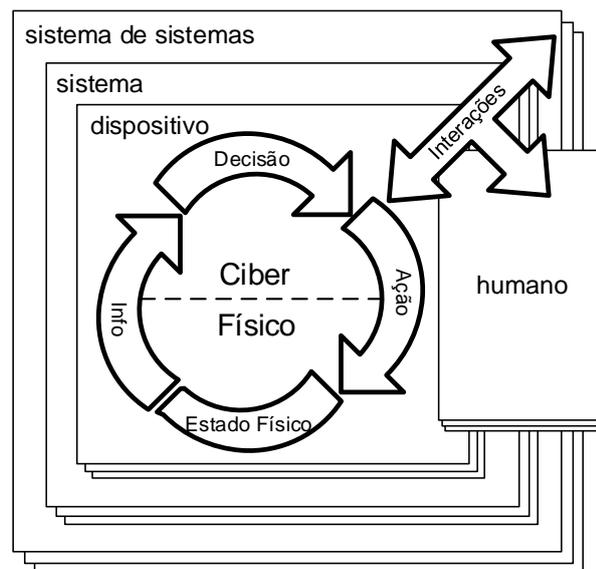
É importante destacar que esta pesquisa adota os posicionamentos abstraídos por Hehenberger *et al.* (2016) e Iglesias-Urkia *et al.* (2020) e não apresenta conceitos focados em outros tipos de sistemas de sistemas que podem estar interrelacionados de algum modo com SCF como, por exemplo: sistemas intensivos, sistemas sensíveis ao contexto ou sistemas auto adaptáveis. Portanto, as próximas seções apresentam as principais definições e as características principais de SCF.

### 2.1.1 Definições de SCF

Um SCF é definido pela *National Science Foundation* (NSF) (NSF, 2018) como “um sistema de engenharia que depende da integração dos componentes computacionais e físicos”. A NSF (2012) define SCF detalhadamente como:

“sistemas onde componentes físicos e de software são profundamente interligados, cada um operando em diferentes escalas espaciais e temporais, exibindo múltiplas e distintas modalidades de comportamento e, interagindo com outros de várias maneiras que mudam com o contexto”.

Segundo Griffor *et al.* (2017) um SCF pode ser considerado um sistema com pelo menos um dispositivo ou um sistema de sistemas com várias interações entre seus dispositivos. Um modelo conceitual foi desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e representa um ambiente recursivo com interações em fluxos para um dispositivo, um sistema ou um sistema de sistemas. A Figura 4 apresenta o respectivo modelo conceitual como um *framework* para SCF.



**Figura 4. Modelo conceitual do *framework* NIST. Traduzido de Griffor *et al.* (2017).**

Conforme ilustrado na Figura 4, as interações dos fluxos no *framework* para SCF podem ocorrer em vários sistemas e vários dispositivos entre as partes ciber e física com impacto direto nas interações com humanos. O fluxo de **Decisão** está entre as informações (Info) e as ações (Ação). O fluxo de **Ação** tem como saída interações com o **Estado Físico**. Esses fluxos colaboram em diferentes escalas em SCF.

O estudo de Khaitan e McCalley (2015) define SCF como uma “nova classe de sistemas de engenharia que oferece uma interação fechada entre os componentes ciber e físico”. Um SCF é considerado um tipo de sistema de engenharia influenciado por vários tipos de características tais como, integração de rede em múltiplas escalas, comportamentos físicos e humanos, nível de automação, configuração e reconfiguração dinâmica e, variáveis relacionadas para a incerteza da segurança no ambiente ciber (MICLEA e SANISLAV, 2011; KHAITAN e MCCALLEY, 2015).

Esta pesquisa segue as definições de SCF estabelecidas nos estudos da NSF (2012) e de Khaitan e McCalley (2015). A NSF (2012) difere o significado das partes

ciber e física em escalas distintas aproximando o comportamento e interação entre tais partes. Assim, torna um SCF “uma nova classe de sistemas de engenharia” conforme definido por Khaitan e McCalley (2015) e não um sistema de sistemas segundo a definição do NIST (GRIFFOR *et al.*, 2017). Portanto, esta pesquisa é contrária a definição do NIST por apresentar um modelo conceitual para SCF a partir de sistemas de sistemas. Além disso, contraria o posicionamento de Hehenberger *et al.* (2016) e Iglesias-Urkia *et al.* (2020), adotados como posicionamentos de SCF nesta pesquisa.

### 2.1.2 Características principais de SCF

Um SCF possui uma ampla quantidade de características complexas (TÖRNGREN e SELLGREN, 2018). Assim, as principais características de SCF foram classificadas neste trabalho a partir da literatura de SCF (CYPHERS, 2014; TÖRNGREN *et al.*, 2017; GRIFFOR *et al.*, 2017). A Figura 5 ilustra tais características que são descritas a seguir.



Figura 5. Características de Sistemas Ciber-Físicos (SCF).

1. A **Interoperabilidade** é considerada uma característica técnica essencial para garantir níveis de integração horizontal (serviços) e vertical (hierarquias

de sistemas) (SCHATZ *et al.*, 2015; SONG *et al.*, 2017; TÖRNGREN *et al.*, 2017; WANG e WANG, 2018) de componentes heterogêneos (componentes ou softwares de terceiros) entre as partes ciber (sistemas embarcados ou sistemas de TI) e físico (sensores ou atuadores) em redes interconectadas (STANKOVIC *et al.*, 2016; SONG *et al.*, 2018; WANG e NIKOLAI, 2018).

2. A **Heterogeneidade** abrange a composição heterogênea das partes ciber e física por meio de um modelo estrutural e um modelo comportamental (BHADORIA *et al.*, 2015; SIDDESH *et al.*, 2015): (i) o modelo estrutural consiste da especificação dos componentes das partes ciber e física como dispositivos heterogêneos (sensores, atuadores, dispositivos analógicos) e seus atributos (memória, energia, armazenamento) (STANKOVIC *et al.*, 2016; SONG *et al.*, 2018; WANG e NIKOLAI, 2018); e (ii) o modelo comportamental é complexo para gerenciamento e engloba máquina de estados para a modelagem do comportamento do SCF (NAKAJIMA *et al.*, 2017; LEE e SESHIA, 2016; MALLET *et al.*, 2017).
3. Um SCF tem características técnicas e **Sensível a Plataforma** (*Platform-Aware*), possuindo **dimensões temporal, espacial e contextual**. As características nessas dimensões influenciam as partes heterogêneas do SCF (RAJKUMAR *et al.*, 2017; NAKAJIMA *et al.*, 2017): (i) a dimensão **temporal** é quando os recursos estão disponíveis para alocação durante um tempo específico para os usuários (RAJKUMAR *et al.*, 2017); (ii) a dimensão **espacial** envolve estruturas topológicas dinâmicas dos componentes ou dispositivos físicos (armazenamento) (RAJKUMAR *et al.*, 2017; NAKAJIMA *et al.*, 2017); e (iii) a dimensão **contextual** contém requisitos para usuários e variações de contexto para SCF com várias incertezas (RAJKUMAR *et al.*, 2017; WANG e WANG, 2018; SCHATZ *et al.*, 2015; CYPHERS, 2015).
4. O **Comportamento Reativo** é uma característica considerada técnica em SCF. Um comportamento reativo recebe uma sequência de ações de entrada a fim de gerar reações de saída. Essas ações realizadas por interações humanas ou dispositivos podem ser executadas concorrentemente a partir de múltiplos processos ou *threads* por meio da comunicação com troca de mensagens síncronas e assíncronas (ALUR,

2015). Por exemplo, a Unidade de Controle do Motor (*Engine Control Unit* (ECU)) de um automóvel recebe, por meio de sensores, as entradas de aceleração e velocidade do automóvel para fornecer saídas como parâmetros atualizados durante um trajeto em uma pista.

5. A **Concorrência** afeta o comportamento do SCF. Ações realizadas por dispositivos (por exemplo, ECU de um automóvel) ou por comportamento humano são executadas concomitantemente a partir de múltiplos *threads* como componentes ou processos por meio de modelos de concorrência síncronos ou assíncronos para melhorar o dinamismo do SCF na troca de dados e no desempenho em tempo real (ALUR, 2015). Por exemplo, uma equipe de robôs com rodas utiliza *threads* concorrentes para obter informações sobre a sua posição e movimento.
6. A **Computação em Tempo Real** pode ser considerada uma característica técnica. É um tipo de comunicação que tem por objetivo melhorar o dinamismo e desempenho em SCF com base na troca de mensagens e dados. Na computação em tempo real existem características que consistem em atrasos (*delays*) de tempo, os quais devem ser mitigados com a implementação de estratégias para gerenciar restrições de recursos como latência ou processamento (ALUR, 2015). A computação em tempo real é afetada por diferentes tempos de processamento que têm impacto na sua disponibilidade (latência e prazo) e segurança (chaves criptográficas) ao longo do tempo em SCF (ALUR, 2015; SONG *et al.*, 2018; WANG e NIKOLAI, 2018). Por exemplo, um Sistema de Controle de Cruzeiro/Piloto Automático (*Cruise Control*) calcula a velocidade do carro e o seu tempo em um trajeto específico.
7. A **Segurança** e a **Resiliência** são características essenciais em redes de múltiplas escalas. As falhas e os ataques são problemas de segurança que ocorrem nas redes e causam deterioração de desempenho e disponibilidade em SCF. Técnicas possibilitam monitorar e descrever tais falhas e ataques em lista de contingências para melhorar a resiliência do SCF (STANKOVIC *et al.*, 2016; RAJKUMAR *et al.*, 2017). A resiliência visa gerir a segurança para manter o SCF disponível, evitar ameaças externas, falhas, ou ataques realizados por outros sistemas ou humanos (usuários ou hackers) (RAJKUMAR *et al.*, 2017; SONG *et al.*, 2018; WANG e NIKOLAI, 2018).

Riscos de **Privacidade** (sistemas sem fios) (WU *et al.*, 2011) estão presentes neste cenário e envolve aspectos do comportamento humano e a forma como as suas interações afetam o ambiente de SCF (SCHATZ *et al.*, 2015).

8. As atividades de **Verificação e Validação (V&V)** podem ajudar a lidar com as incertezas de confiabilidade e segurança do SCF (ADHIKARI *et al.*, 2015; RAWAT *et al.*, 2015). A V&V fornece métodos funcionais e probabilísticos para garantir o projeto de SCF por meio de várias simulações e testes formais para minimizar defeitos e tornar o SCF estável (BHADORIA *et al.*, 2015; SIDDESH *et al.*, 2015). Por exemplo, um SCF possui nós que precisam ser testados - um veículo é um nó com comportamento dinâmico no tráfego diário em cidades inteligentes.
9. A **Estrutura Topológica Dinâmica** abrange os nós em SCF com alta conectividade. Esta estrutura tem uma distribuição dinâmica não uniforme de nós com granularidades altas e baixas em locais e redes distintas. As falhas nas comunicações têm impacto em nós de SCF, limitações móveis (distância e alcance do sinal) e questões de segurança (ataques). Por exemplo, em uma cidade inteligente, os veículos são nós que recebem informação e se comunicam com outros nós (SUN e SONG, 2017; WU e SUN, 2017).
10. O **Ciclo de Vida** do SCF é impactado pelo *trade-off* entre os custos computacionais e as regras de negócio em suas partes ciber e física. Essas partes do SCF são diretamente afetadas por mudanças rápidas de tecnologias (novos sensores ou sistemas de software) (SONG *et al.*, 2018; TÖRNGREN *et al.*, 2017; NAKAJIMA *et al.*, 2017).
11. Os **Níveis de Automação** ou automatização têm ajudado a definir as interações humanas parciais ou totais em tecnologias de SCF para compartilhar informações e inteligência (WANG e WANG, 2018; SCHATZ *et al.*, 2015; CYPHERS, 2014; CYPHERS, 2015).
12. As **Interações Humanas** são caracterizadas como autonomia, usabilidade, e impacto da tomada de decisões no ciclo de vida do SCF (WANG e WANG, 2018; SCHATZ *et al.*, 2015; CYPHERS, 2014; CYPHERS, 2015). A autonomia do SCF próxima as interações humanas envolvem o

gerenciamento de características complexas do SCF como a escalabilidade e extensibilidade (ADHIKARI *et al.*, 2015; RAWAT *et al.*, 2015).

13. A **Computação em Nuvem** está relacionada com a escalabilidade do SCF e necessita de recursos, como demandas do SCF para escalar e aumentar a sua infraestrutura. Por exemplo, escalar o balanceamento de carga (*load balancing*) na computação em nuvem (WU *et al.*, 2011). Assim, os SCFs são descentralizados, têm alta conectividade e controle por computação em nuvem apoiada por tomada de decisões humanas (WANG e WANG, 2018; SCHATZ *et al.*, 2015; CYPHERS, 2015; WU *et al.*, 2011).
14. Os **Aspectos Transversais** (*cross-cutting aspects*) como características do SCF englobam restrições (*constraints*) do SCF perante a jurisdição transversal (*cross-jurisdiction*) em cenários de domínio transversais (norma e legislação) e governança (regulamentação e certificação). Existem responsabilidades nas operações de SCF relacionadas aos governos durante o processo de certificação para cumprir normas eficientemente (WANG e WANG, 2018; SCHATZ *et al.*, 2015; CYPHERS, 2014; CYPHERS, 2015; WU *et al.*, 2011).

As características em SCF podem ser atingidas por aspectos governamentais e burocráticos que podem impactar em negócios internacionais ou em sistemas financeiros em SCF (SCHATZ *et al.*, 2015; CYPHERS, 2015). Atividades de verificação e validação podem auxiliar a lidar com esses aspectos de *cross-cutting* (transversais) e incertezas em SCF. As atividades relacionadas ao planejamento, testes (testes funcionais ou probabilísticos) e para minimizar defeitos, podem tornar um SCF mais estável e confiável (ADHIKARI *et al.*, 2015; RAWAT *et al.*, 2015).

A lista de características foi criada durante buscas pelos termos “*features*”, “*characteristics*” e “características” nos trechos de texto em livros ou artigos de SCF. A lista contém as principais características de SCF. Nenhum processo sistemático foi utilizado explicitamente para identificar as características. No entanto, a análise qualitativa com codificação In Vivo (CAPÍTULO 4 - Seção 4.1) poderia estar associada ao processo de identificação das características. A classificação das características foi realizada de acordo com a descrição das características e relações explícitas com outras características descritas nos trechos de texto de livros ou artigos de SCF.

Diante das principais características apresentadas, o *framework* do NIST contempla propriedades, aspectos e facetas para SCF (GRIFFOR *et al.*, 2017). As

características não são classificadas e categorizadas, mas sim incluídas conforme a estrutura do *framework* e os domínios de abrangência em SCF. O *framework* não é ortogonal e abrange interesses e aspectos nos domínios de SCF como manufatura, transporte, energia, saúde, dentre outros. Os interesses são aspectos coletados de várias partes interessadas (*stakeholders*) de acordo com os domínios de SCF. Os nove aspectos são: Funcional, Negócio, Humano, Confiança, Tempo, Dados, Fronteiras, Composição e Ciclo de Vida.

Neste contexto, as partes interessadas realizam atividades e utilizam artefatos por meio de facetas durante o ciclo de vida do SCF. O *framework* do NIST para SCF tem três facetas: (i) Conceitualização, “o que as coisas devem ser e o que as coisas supostamente devem fazer”; (ii) Realização, “como as coisas devem ser feitas e devem funcionar”; e (iii) Garantia, “como atingir um nível desejado de confiança de que as coisas funcionarão da forma que deveriam”. A Figura 6 ilustra os elementos do *framework* do NIST para SCF (GRIFFOR *et al.*, 2017).

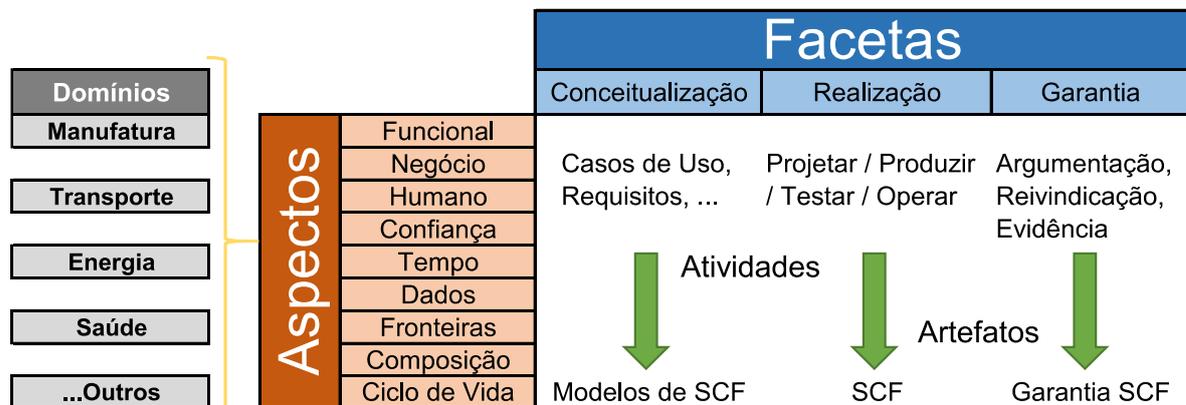


Figura 6. NIST SCF *Framework*. Traduzido de Griffor *et al.* (2017).

Neste cenário, constituído por características, propriedades, aspectos e facetas, há incertezas e dificuldades em relação à modelagem e gerenciamento em SCF. Arquiteturas específicas vêm surgindo na tentativa de estruturar tal cenário para impulsionar o crescimento de novos tipos de SCF.

### 2.1.3 Tipos e arquiteturas de SCF

As características principais apresentadas anteriormente são aplicáveis na maioria dos domínios de aplicação em SCF (TÖRNGREN *et al.*, 2017; TÖRNGREN e SELLGREN, 2018; DESHMUKH *et al.*, 2019). Dentre os domínios, estão sistemas de

produção, agricultura, saúde, energia, defesa, sociedade e transporte. Os domínios incluem sistemas inteligentes e autônomos para automóveis, cidades inteligentes, *smart grids*, dentre outros (MONOSTORI *et al.*, 2016; GREENYER *et al.*, 2019).

Os domínios são associados com vários tipos de SCF. Dentre os tipos de SCF, estão: Sistemas de Produção Ciber-Físicos (SPCF) (KLIMEŠ, 2014; MONOSTORI, 2014; LEE *et al.*, 2015; CARDIN, 2019), Sistemas de Agricultura Ciber-Físicos (SACF) (AN *et al.*, 2017; TZOUNIS *et al.*, 2017), Sistemas Ciber-Físicos Médico (SCFM) (DEY *et al.*, 2018; RAJKUMAR *et al.*, 2017), Sistemas Ciber-Físicos Automotivo (SCFA), Sistemas Ciber-Físicos de Transporte (SCFT) (DEKA *et al.*, 2018; WU e SUN, 2017) e Sistemas Ciber-Físicos de Energia (SCFE) (RAJKUMAR *et al.*, 2017).

Ao longo do tempo arquiteturas específicas foram desenvolvidas para propiciar o projeto e crescimento de tipos de SCF. Para exemplificar, a definição e a arquitetura de dois tipos de SCF são apresentados(as) nas próximas seções.

#### 2.1.3.1 Sistemas de Produção Ciber-Físicos (SPCF)

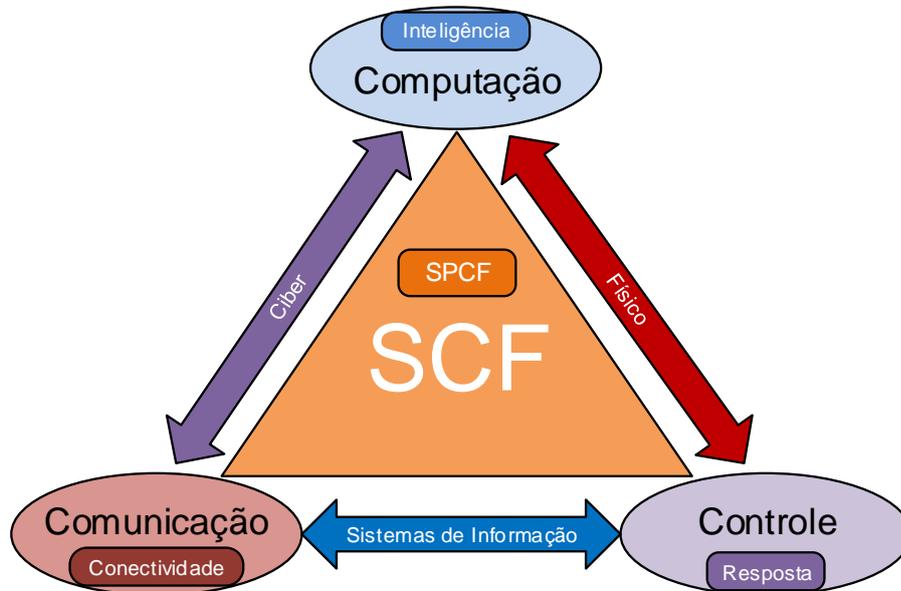
SPCF são tipos de SCF que vêm sendo aplicados em sistemas de manufatura e produção na Indústria 4.0. Segundo Cardin (2019) e Monostori (2014), um SPCF é definido como:

“sistemas de sistemas de elementos autônomos e cooperativos que se conectam de maneiras dependentes da situação, em todos os níveis de produção, de processos a máquinas e redes de produção e logística, aprimorando os processos de tomada de decisão em tempo real, em resposta a condições imprevistas e evolução ao longo do tempo”.

Com base em Cardin (2019) um SPCF é apresentado inicialmente por Klimeš (2014) com níveis pouco detalhados: (i) **Computação**, envolve a integração da parte Físico entre as características de Computação e Controle, bem como a integração da parte Ciber entre as características de Comunicação e Computação; (ii) **Controle**, permite a integração de Sistemas de Informação entre as características de Controle e Comunicação; e (iii) **Comunicação**, integra a comunicação entre Sistemas de Informação e a Computação da parte Ciber.

Em contraste com o estudo de Cardin (2019) e Klimeš (2014), o estudo de Monostori *et al.* (2016) descreve um SPCF com três principais características: (i) **Inteligência** (*smartness*), os elementos são autônomos e têm a responsabilidade de coletar informações; (ii) **Conectividade**, responsável por conectar vários elementos no sistema, incluindo dispositivos e humanos de maneira colaborativa; e (iii)

**Capacidade de Resposta**, envolve a responsabilidade de ação à mudanças internas e externas no sistema. A Figura 7 apresenta as relações de acordo com as características entre SCF e SPCF (KLIMEŠ, 2014; MONOSTORI *et al.*, 2016; CARDIN, 2019).



**Figura 7. Capacidades de um SCF e SPCF. Traduzido de Cardin (2019).**

A partir das definições e características de SPCF, o estudo de Lee *et al.* (2015) propõe a arquitetura 5C para propiciar o desenvolvimento de sistemas de manufatura e produção da Indústria 4.0 no contexto de SCF. A arquitetura possui cinco facetas e é representada na Figura 8 (LEE *et al.*, 2015).



Figura 8. Facetas da arquitetura 5C em SCF. Traduzido de Lee *et al.* (2015).

A primeira faceta da arquitetura 5C é chamada de **Conexão Inteligente**. Nesta faceta são obtidos dados de máquinas por meio de uma rede de sensores, controladores ou sistemas de informação dentro do sistema de manufatura. Dois fatores principais são considerados nessa faceta: (i) vários tipos de dados são coletados e transferidos para um servidor central utilizando o método de comunicação *Tether-free* (um dispositivo atua como uma ponte para comunicar outros dispositivos); e (ii) sensores são selecionados conforme suas especificações para a coleta de dados (LEE *et al.*, 2015).

A segunda faceta é chamada de **Conversão de Dados para Informação** e abrange um conjunto de ferramentas e métodos para converter dados em informações relevantes. Diferentes algoritmos são executados e prognósticos são obtidos para tornar as máquinas mais inteligentes (LEE *et al.*, 2015).

A terceira faceta é chamada de **Ciber**. É considerada um centro de informações que foram capturadas na segunda faceta conforme as máquinas conectadas na rede. Essa faceta permite gerenciar e analisar as informações do nível **Ciber** em SCF. Análises específicas são executadas em um conjunto de informações de cada uma das máquinas. As informações são agrupadas por meio da mineração de dados,

incluindo as similaridades e o histórico das máquinas. Com base nessas informações, o desempenho das máquinas pode ser otimizado (LEE *et al.*, 2015).

A quarta faceta é chamada de **Cognição**. Esta faceta expressa a visualização, simulação e diagnóstico quanto ao conhecimento dos usuários que monitoram o sistema. Contém mecanismos de apresentação do conhecimento com gráficos customizados para a transferência do conhecimento e para a tomada de decisão. Por exemplo, os usuários podem priorizar tarefas e otimizar a manutenção das máquinas (LEE *et al.*, 2015).

A última faceta é chamada de **Configuração**. Esta faceta engloba os resultados obtidos nas outras facetas. Envolve a resposta das partes ciber e físico de forma que as máquinas sejam automatizadas quanto a sua configuração, ajuste e otimização. Essa faceta possui um sistema de controle de resiliência que auxilia nas decisões do sistema conforme as saídas obtidas na faceta **Cognição** (LEE *et al.*, 2015).

A arquitetura 5C de Lee *et al.* (2015) é associada com diversas normas (*standards*) e patentes relacionadas com SCF de manufatura avançada no contexto da Indústria 4.0 (TRAPPEY *et al.*, 2016; AHMADI *et al.*, 2017). Além disso, a arquitetura 5C foi estendida por Jiang (2018) e chamada de arquitetura 8C.

Três novas facetas externas à arquitetura 5C foram adicionadas na arquitetura 8C (JIANG, 2018): (i) A faceta de **Coalisão** ou **Integração** contempla a integração de diferentes partes na cadeia de produção (linhas de produção) e na cadeia de suprimentos para a geração de produtos flexíveis, dinâmicos e entregues em tempo hábil; (ii) **Cliente**, esta faceta envolve o cliente no processo de projeto, produção e pós-venda de produtos específicos; e (iii) **Conteúdo**, esta faceta é responsável pelo gerenciamento de conteúdo em relação a produção por meio da utilização de funções de extração, armazenamento e rastreabilidade de produtos. A Figura 9 ilustra estas facetas conforme a arquitetura 8C proposta por Jiang (2018).

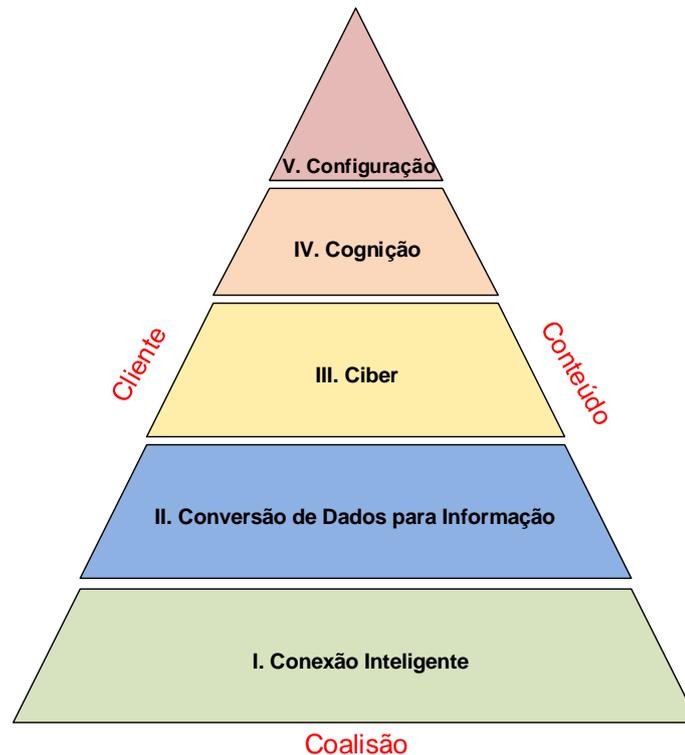


Figura 9. Arquitetura 8C. Traduzido de Jiang (2018).

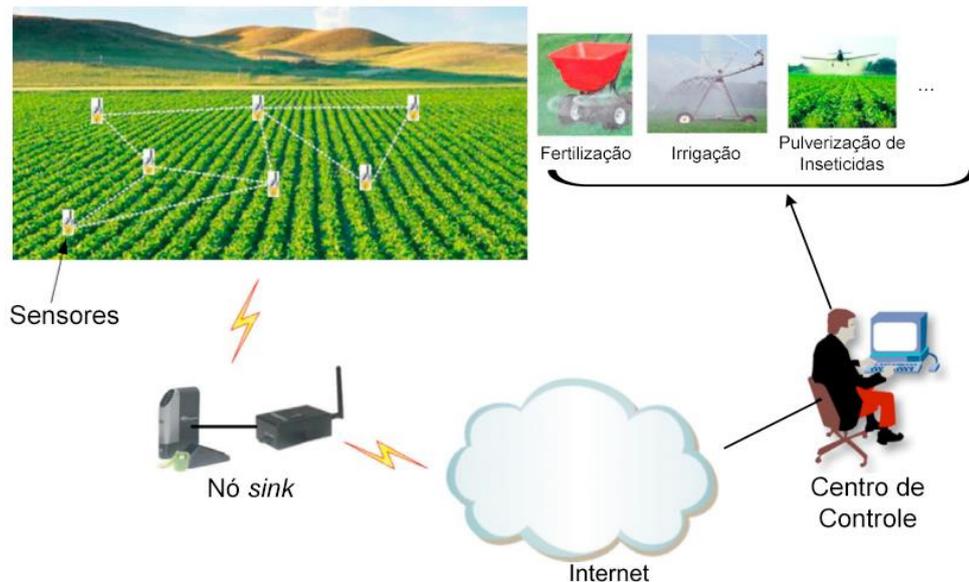
#### 2.1.3.2 Sistemas de Agricultura Ciber-Físicos (SACF)

O SACF foi proposto no contexto da agricultura de precisão por An *et al.* (2017) e posicionado em uma arquitetura específica. Um SACF é útil para a coleta de dados por meio de sensores e atuadores, que obtêm dados sobre o solo, umidade, clima e diferentes cultivos agrícolas. Estes dados auxiliam no gerenciamento preciso de cultivos em diferentes culturas agrícolas.

Um SACF tem diversas aplicações na agricultura de precisão, incluindo o monitoramento inteligente da umidade do solo por meio de sensores, monitoramento dos minerais do solo, da radiação, do clima, do crescimento, da prevenção de doenças e gerenciamento de culturas agrícolas (AN *et al.*, 2017; TZOUNIS *et al.*, 2017).

Para facilitar o projeto de um SACF, uma arquitetura é proposta no estudo de An *et al.* (2017) e adaptada no estudo de Selmani *et al.* (2019). A arquitetura possui os seguintes níveis (AN *et al.*, 2017): (i) **Sensores e nós sink**, os sensores são distribuídos no campo para o monitoramento das condições do ambiente (temperatura ou pressão atmosférica). Os nós *sink* são responsáveis por agrupar e transmitir os dados coletados dos sensores para os usuários via rede; (ii) **Rede**, garante a comunicação dos dispositivos e possibilita a transmissão dos dados dos nós *sink* para o Centro de controle; e (iii) **Centro de controle**, faz o processamento dos dados

coletados dos sensores e permite que os usuários tomem decisões acerca das configurações que podem ser realizadas no cultivo agrícola. A Figura 10 ilustra os níveis da arquitetura no contexto de SACF.



**Figura 10. Arquitetura típica de um SACF. Traduzido de An et al. (2017).**

Arquiteturas específicas em SCF auxiliam na organização da modelagem e no processo de reutilização de ativos ou artefatos durante todo o ciclo de vida de desenvolvimento em SCF. Entretanto, mesmo com a adoção e aplicação dessas arquiteturas, modelar e reutilizar ativos em SCF não é uma tarefa fácil e simples.

Atualmente, o reúso é investigado como uma solução para reutilizar ativos em SCF em razão da sua capacidade de reutilizar características de sistemas de software (CAPILLA *et al.*, 2019; RABISER; ZOITL, 2021). Dentre os paradigmas de reúso existentes, a engenharia de Linha de Produto de Software (LPS) e seus mecanismos para modelagem de características em SCF, têm sido exploradas(os) como um meio para reduzir esforços e minimizar a dificuldade durante a modelagem e gerenciamento sistemático em SCF (KRÜGER *et al.*, 2017; RABISER; ZOITL, 2021; TEKINERDOGAN *et al.*, 2021).

A próxima seção apresenta os principais conceitos sobre LPS, essenciais para fundamentar o desenvolvimento desta pesquisa.

## 2.2 Linha de Produto de Software (LPS)

A engenharia de LPS fornece estratégias para reúso dos ativos por meio de *core assets* considerando um conjunto de sistemas de software como uma família de produtos (CAPILLA *et al.*, 2013; LINDEN *et al.*, 2007). Cada produto pode ser customizado de acordo com regras de negócio para um nicho de mercado específico (BOSCH e LEE, 2010; CLEMENTS e NORTHROP, 2002).

A engenharia de LPS se difere do processo de desenvolvimento de sistemas de software tradicional. Os produtos específicos são customizados com base em um núcleo de ativos e em uma família de produtos, sendo que a engenharia de LPS não considera cada sistema de software de forma individual (LINDEN *et al.*, 2007).

Por causa da diferença da engenharia de LPS em relação ao desenvolvimento de software tradicional, a engenharia de LPS foi consolidada mundialmente em várias organizações, propiciando o aumento da produtividade e redução de custos com qualidade. Várias organizações adotaram a engenharia de LPS e estão presentes no *hall of fame* da *Software Product Line Conference (SPLC)*<sup>16</sup>, bem como são mencionadas por empresas como (NORTHROP e CLEMENTS, 2012) Boeing, Bosch Group, Cummings, General Motors (GM), Hewlett-Packard (HP), LG, Lucent, NASA, Nokia, Philips, Siemens, Toshiba, U.S. Army Live Training Transformation e U.S. Naval Research Laboratory.

Para garantir a aplicação teórica e prática da engenharia de LPS é necessária a sua compreensão no meio acadêmico e na indústria (NORTHROP e CLEMENTS, 2012). O *Framework for Software Product Line Practice (Version 5)* é um documento que contém os conceitos essenciais da engenharia de LPS, sendo estruturado em um formato de *framework*. Este documento é mantido pelo *Software Engineering Institute (SEI)* por meio de colaborações da comunidade de LPS e foi criado de acordo com aplicações práticas em organizações e colaborações em estudos com diferentes clientes (NORTHROP e CLEMENTS, 2012). O documento foi atualizado de maneira incremental com base em uma versão anterior do *framework* proposto inicialmente por Clements e Northrop (2002).

Os próximos conceitos sobre LPS serão apresentados conforme tal documento e seu respectivo *framework*. Em adição, o Anexo C apresenta as definições dos

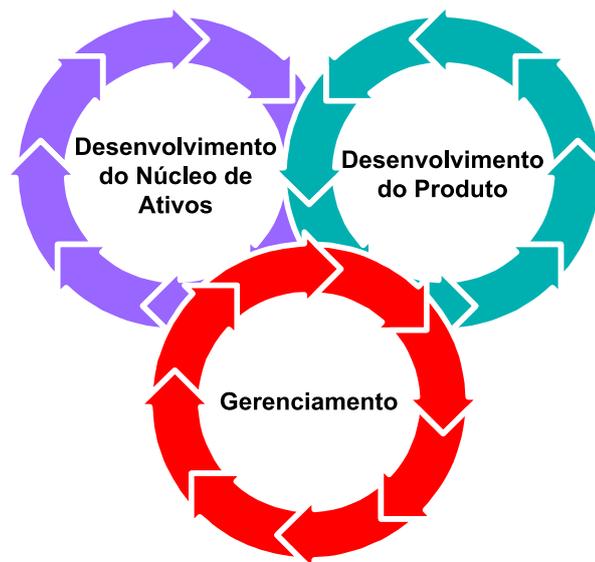
---

<sup>16</sup> Hall of Fame SPLC: <https://splc.net/fame.html>

principais termos associados aos conceitos de LPS com base nas ISO/IEC 26550:2015 (ISO/IEC, 2015) e ISO/IEC 26560:2019 (ISO/IEC, 2019).

Segundo Northrop e Clements (2012) a engenharia de LPS engloba um conjunto de sistemas de software que compartilham características comuns e variáveis, as quais devem ser gerenciadas para atender necessidades de mercado por meio da reutilização de um núcleo de ativos.

Na engenharia de LPS o núcleo de ativos é gerenciado e aplicado a partir de três atividades principais iterativamente interligadas por meio de três ciclos: (i) **Desenvolvimento do Núcleo de Ativos**, corresponde a **Engenharia de Domínio (ED)**; (ii) **Desenvolvimento do Produto**, corresponde a **Engenharia de Aplicação (EA)**; (iii) **Gerenciamento**, engloba as atividades de gerenciamento técnico e organizacional. A Figura 11 ilustra tais atividades (NORTHROP e CLEMENTS, 2012).



**Figura 11. Atividade essenciais da engenharia de LPS. Traduzido de Northrop e Clements (2012).**

A atividade referente ao **Desenvolvimento do Núcleo de Ativos**, que corresponde a ED na engenharia de LPS, possui a capacidade de gerar produtos customizados de forma iterativa conforme as entradas e saídas contidas em seu ciclo. Portanto, a atividade não é sequencial e pode mudar conforme as restrições e recursos devido às mudanças contextuais. Por exemplo, é possível definir nesta atividade uma estratégia de produção como entrada e selecionar ativos pré-existentes.

A atividade de **Desenvolvimento do Produto** corresponde a EA na engenharia de LPS. Esta atividade possui como entradas: (i) **Escopo da Linha de Produto**, apresenta o quanto é viável desenvolver um produto com base em LPS; (ii) **Núcleo de Ativos Base**, necessário para a derivação dos produtos em LPS; e (iii) um **Plano de Produção**, descreve como aplicar o núcleo de ativos para derivar os produtos em LPS. A atividade de Desenvolvimento do Produto ocorre com base nas suas entradas, de maneira iterativa e de acordo com a Descrição do Produto.

Os conceitos apresentados das atividades de Desenvolvimento do Núcleo de Ativos e Desenvolvimento do Produto constituem o *framework* proposto por Northrop e Clements (2012) e mantido pelo SEI. Para facilitar a adoção dos conceitos e das atividades de LPS, Pohl *et al.* (2005) propõem um *framework* de natureza técnica que incorpora tais conceitos e atividades com o objetivo de fornecer mecanismos para guiar a reutilização do núcleo de ativos para a personalização em massa de produtos. A Figura 12 apresenta o *framework* e seus processos no contexto da engenharia de LPS (POHL e METZGER, 2018).

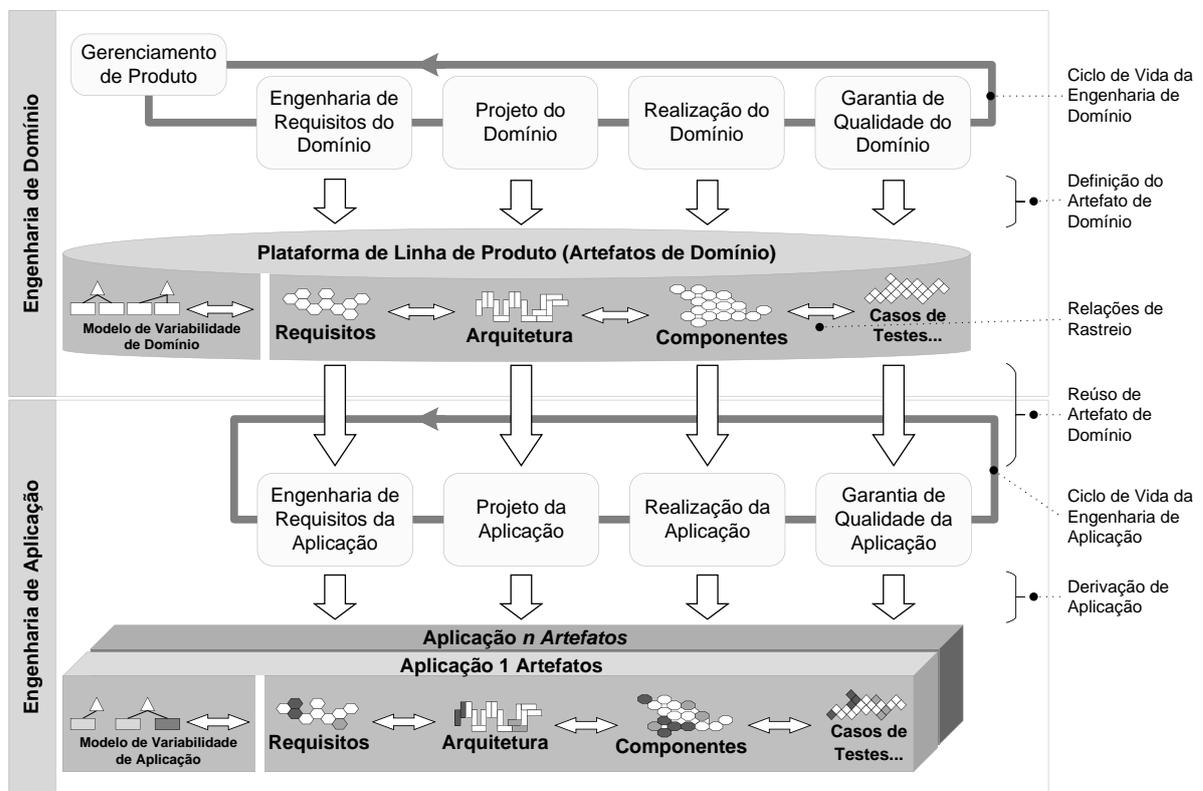


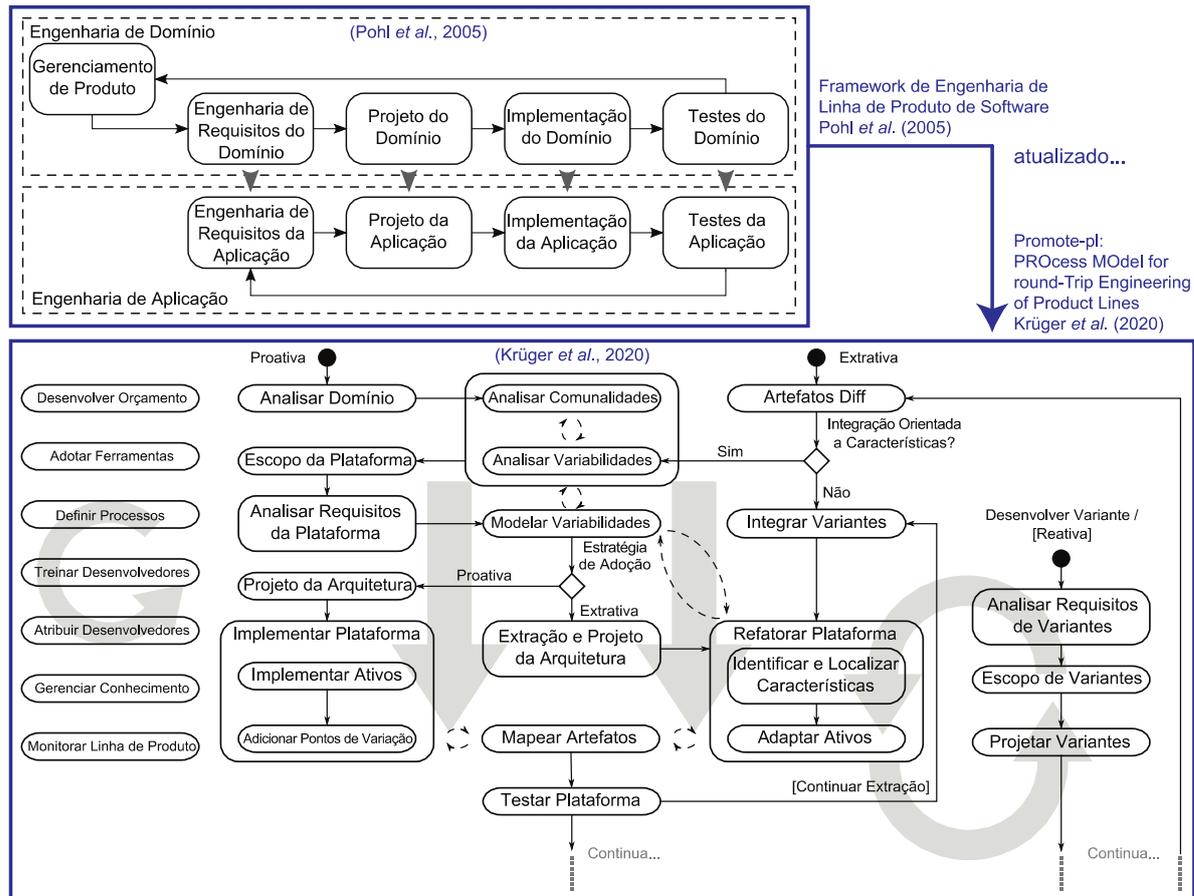
Figura 12. *Framework* de engenharia de LPS. Traduzido de Pohl e Metzger (2018).

O *framework* de engenharia de LPS abstrai a personalização específica de produtos a partir de dois processos principais para reúso de ativos definidos como (POHL *et al.*, 2005; POHL e METZGER, 2018): (i) ED, corresponde a atividade de Desenvolvimento do Núcleo de Ativos; e (ii) EA, corresponde a atividade de Desenvolvimento de Produto (NORTHROP e CLEMENTS, 2012).

O processo de ED define o espaço do problema em que os aspectos comuns e variáveis em LPS, referente as variabilidades, são identificadas. O processo de EA, difere da ED, considerando o espaço da solução a partir da reutilização de ativos da ED com a finalidade de instanciar produtos por meio de suas variabilidades em LPS (POHL *et al.*, 2005; POHL e METZGER, 2018).

Durante a ED o Modelo de Variabilidade de Domínio é representado de maneira transversal e permite a modelagem sistemática de variabilidades em diferentes sistemas, por exemplo, em sistemas IoT e SCF. Esse modelo pode conter variabilidades comuns e variáveis definidas como características (*features*) ou funcionalidades em LPS (o conceito de variabilidade é definido nas próximas seções) (POHL e METZGER, 2018).

Krüger *et al.* (2020) atualizou o *framework* de engenharia de LPS de Pohl *et al.* (2005) com a criação de modelo de processo moderno chamado *PROcess MOdel for round-Trip Engineering of Product Lines* (Promote-pl). Esse modelo abrange uma atualização das atividades contidas nos subprocessos de ED e EA com o objetivo de considerar a modelagem de variabilidades de novos sistemas adaptativos, intensivos e sistemas IoT e SCF. A Figura 13 ilustra o Promote-pl com atividades para a engenharia moderna de LPS.



**Figura 13. Framework de engenharia de LPS (POHL et al., 2005) atualizado pelo modelo de processo Promote-pl (KRÜGER et al., 2020). Traduzida e adaptada de Krüger et al. (2020).**

Promote-pl é um processo que fornece atividades distribuídas em três estratégias de adoção derivadas de Krueger (2002), conhecidas como Proativa, Extrativa e Reativa (KRÜGER et al., 2020). A estratégia de adoção Proativa é similar à DE, descrita em Pohl et al. (2005) e Pohl e Metzger (2018). Na estratégia proativa são identificados os elementos (variabilidades) comuns e variáveis em paralelo, após isso, são identificados o escopo e a plataforma para modelar a variabilidade da arquitetura de projeto (por exemplo, "Implementação de Domínio") e seus pontos de variação para testes (por exemplo, "Teste de Domínio") (KRÜGER et al., 2020). Observando a Figura 13, o processo desenvolvido nesta pesquisa é posicionado na engenharia de domínio considerando a modelagem sistemática de variabilidades por meio da adoção da estratégia proativa (CAPÍTULO 5).

Dentre as outras duas estratégias do Promote-pl, está a estratégia de adoção extrativa. É uma estrutura *top-down* que identifica e localiza recursos com base em uma plataforma e arquitetura bem definida. Uma organização pode reutilizar variantes

para o modelo de variabilidades na atividade "Variabilidade de Modelo". A última estratégia é Reativa e é definida por Krüger *et al.* (2020) como "evolução baseada em variações". A abordagem reativa depende da análise, escopo e variantes de projeto para a composição de diferentes ativos.

Além disso, as estratégias proativa e extrativa abrangem atividades muito similares (Figura 13). Entretanto, elas são diferentes na análise de domínio (por exemplo, características pré-definidas), e as organizações podem adaptar tais atividades de acordo com seu contexto de gerenciamento com LPS (KRÜGER *et al.*, 2020).

### 2.2.1 Gerenciamento em LPS

Características comuns e variáveis dos produtos em uma LPS compartilham o núcleo de ativos (ED) com o intuito de melhorar a qualidade e produtividade para derivar novos produtos específicos (LINDEN *et al.*, 2007). O *framework* de engenharia de LPS de Pohl *et al.* (2005), atualizado pelo modelo de processo de Krüger *et al.* (2020), auxiliam na derivação de produtos. Entretanto, para aplicar com sucesso as atividades contidas em tal *framework* ou modelo de processo (Promote-pl), é necessário compreender o funcionamento de atividades de **Gerenciamento**, explicitadas conceitualmente por (NORTHROP e CLEMENTS, 2012). A Figura 14 ilustra a atividade de Gerenciamento na engenharia de LPS.

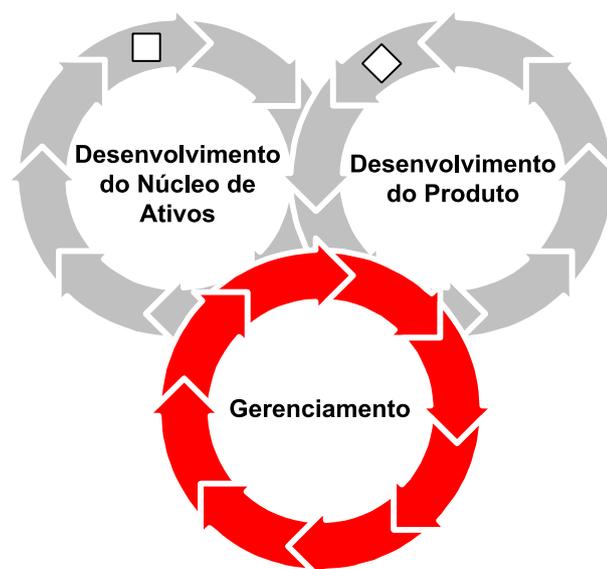


Figura 14. Atividade de gerenciamento da engenharia de LPS. Traduzido de Northrop e Clements (2012).

O sucesso da engenharia de LPS é atribuído ao fato de prover atividades de Gerenciamento para lidar com a personalização de produtos em massa com base em um núcleo de ativos. No Gerenciamento, atividades organizacionais e técnicas são responsáveis por esse avanço da engenharia de LPS (KRUEGER, 2002a; NORTHROP e CLEMENTS, 2012; BOSCH *et al.*, 2015).

O gerenciamento dessas atividades é organizado, principalmente, pela atividade de **Gerenciamento Organizacional** com o objetivo de garantir a correta aplicação dos conceitos de LPS. Esta atividade engloba a estratégia de produção e suas restrições para minimizar os riscos na adoção de uma LPS. Assim, esta atividade deve garantir a correta execução das operações, a comunicação entre as partes, bem como possuir uma documentação compartilhada entre clientes e fornecedores que utilizam LPS (NORTHROP e CLEMENTS, 2012).

A atividade de gerenciamento organizacional deve conter recursos fornecidos por unidades organizacionais para garantir a evolução do núcleo de ativos. Esforços por parte de unidades organizacionais podem influenciar no sucesso ou falha na utilização do núcleo de ativos, sendo uma das atividades técnicas em LPS. Neste contexto, a atividade de gerenciamento organizacional é responsável por sincronizar as iterações que ocorrem entre as atividades técnicas de Desenvolvimento do Núcleo de Ativos e de Desenvolvimento do Produto (NORTHROP e CLEMENTS, 2012).

A atividade de **Gerenciamento Técnico** define a coordenação das atividades do Desenvolvimento do Núcleo de Ativos e de Desenvolvimento do Produto. Esta atividade possui o papel de manter o envolvimento entre o núcleo de ativos e seus produtos derivados por meio de um processo de produção bem definido, o qual deve ser monitorado. Esta atividade ainda inclui o gerenciamento do método de produção e o plano de produção conforme as necessidades técnicas especificadas (NORTHROP e CLEMENTS, 2012).

O principal objetivo das atividades de **Gerenciamento Organizacionais e Técnicas** é fornecer um meio para propiciar a reutilização e o gerenciamento efetivo de ativos do núcleo de ativos para permitir a derivação de produtos (NORTHROP e CLEMENTS, 2012). Dentre as atividades de Gerenciamento em LPS, uma atividade que merece atenção especial é a atividade chamada de Gerenciamento de Variabilidades (GV).

### 2.2.1.1 Gerenciamento de Variabilidades (GV)

O GV é uma das principais atividades em LPS e possui quatro atividades essenciais que englobam a identificação, a delimitação, a implementação e o gerenciamento de variantes em relação as configurações de produtos (CAPILLA *et al.*, 2013; CHEN e ALI BABAR, 2011; THURIMELLA e BRUEGGE, 2012; GALSTER *et al.*, 2013).

O GV é definido por Krueger (2002a) como o principal fator que diferencia o desenvolvimento tradicional de software e a engenharia de LPS. Segundo Krueger (2002a) o GV é responsável por: (i) gerenciar ativos comuns e variáveis em LPS para gerar produtos ao longo do tempo; (ii) reduzir ou minimizar a dificuldade de adoção por meio da utilização de estratégias, reúso de tecnologias, ativos de software, extensões e técnicas para reduzir esforços, tempo e custos; (iii) estabelecer uma metodologia flexível para diferentes tipos de negócios por meio das estratégias proativa e reativa para o GV; e (iv) definir níveis de formalidade diferentes que podem ser escolhidos por engenheiros como, por exemplo, análise de domínio ou utilização do desenvolvimento orientado à componentes (KRUEGER, 2002a).

Diante da atividade de GV em LPS, torna-se necessário compreender as definições essenciais sobre as variabilidades existentes para aplicação correta e efetiva do GV.

#### 2.2.1.1.1 Definições de variabilidades

O estudo de Weiss e Lai (1999) destaca a relevância das variabilidades como o principal meio para diferenciar os produtos membros de uma família de produtos. Apel *et al.* (2013) descreve que “variabilidade é a habilidade para derivar diferentes produtos a partir de um conjunto comum de artefatos”. Segundo Linden *et al.* (2007), “uma variabilidade em LPS é uma característica que pode ser comum a todos os produtos, mas não para todos”. De acordo com tais definições, as variabilidades em um sistema de software são essenciais para a especificação de produtos customizados e reutilizáveis a partir de um núcleo de ativos e uma família de produtos organizada. Esse cenário permite reconfigurações dos ativos para um determinado contexto específico (POHL *et al.*, 2005; THURIMELLA e BRUEGGE, 2012).

Variabilidades podem emergir caso decisões de projeto sejam ignoradas ou resolvidas em outro momento (HALMANS e POHL, 2003). As variabilidades podem

ser resolvidas em diversos momentos durante um tempo de resolução em específico (tempo de projeto, de execução, de compilação e de ligação) (LINDEN *et al.*, 2007).

Uma variabilidade define restrições, dependências e como um produto é diferente de outro por meio de *features* ou variantes (CAPILLA *et al.*, 2013; CLEMENTS e NORTHROP, 2002). Uma ou mais *features* ou variantes podem ser selecionadas como elementos na modelagem de variabilidades para resolver um ponto de variação ou variabilidades (CAPILLA *et al.*, 2013; LINDEN *et al.*, 2007). Portanto, faz-se necessário descrever variabilidades por meio dos conceitos de pontos de variação, variantes, suas restrições e dependências (LINDEN *et al.*, 2007):

- **Ponto de Variação:** ocorre em diferentes níveis de abstração em ativos genéricos e em um local ou vários locais com variações associadas. A resolução se dá por meio da seleção das variantes associadas ao ponto de variação como solução para a resolução das variabilidades.
- **Variantes:** são unidades que podem ser selecionadas para solucionar um ponto de variação ou variabilidade.
- **Dependências de variabilidades:** especifica os tipos de variantes e/ou variabilidades e suas cardinalidades básicas (como e quando podem ser selecionadas) para satisfazer um ponto de variação. Dentre os tipos de variantes estão: (i) mandatória, a variante é obrigatória e deve ser selecionada; (ii) alternativa, é necessário selecionar a variante; (iii) opcional, uma variante está disponível para seleção; e (iv) OU, uma ou mais variantes podem ser ou não selecionadas.
- **Restrições e dependências entre variabilidades:** consiste nas associações permitidas explicitamente entre uma ou várias variantes durante um tempo de resolução em específico em relação a um ponto de variação ou variabilidade. Inclui diferentes tipos de dependências como: (i) *requires*, a variante selecionada requer a seleção de outra variante; e (ii) *excludes*, a variante selecionada proíbe a seleção de outra variante.

Com base nos itens apresentados para descrever variabilidades em LPS, essas variabilidades podem ser modeladas como *features*. As próximas seções apresentam tais definições acerca de variabilidades representadas como características em LPS.

#### 2.2.1.1.2 Variabilidades como *features* e suas definições

Com base no estudo de Kang *et al.* (1990), uma *feature* é “um aspecto proeminente ou distintivo visível ao usuário, com qualidade, ou uma característica de um sistema de software ou sistemas”. Em outro estudo relevante de Kang *et al.*, (1998), “*features* são abstrações funcionais distintamente identificáveis que devem ser implementadas, testadas, entregues e mantidas”. Segundo Bosch (2000) uma *feature* é “uma unidade lógica de comportamento especificado por um conjunto de requisitos funcionais e não-funcionais”. Em síntese, *features* se referem as características funcionais e não funcionais abstraídas em diferentes fases durante o desenvolvimento de um sistema de software. Estas características podem ser gerenciadas no contexto da engenharia de LPS.

O estudo de Chen *et al.* (2005) apresenta que “uma *feature* descreve uma característica de produto a partir de visualizações do usuário ou cliente, a qual consiste essencialmente de um conjunto coesivo de requisitos individuais”. O estudo de Czarnecki e Eisenecker (2000) descreve como *feature* “uma característica distinguível de um conceito (sistema, componente, etc.) que é relevante para algum stakeholder do conceito”. Portanto, *features* podem ser visíveis e compartilhadas entre os *stakeholders* para melhor entendimento do domínio durante a especificação de um produto.

Conforme o estudo de Batory *et al.* (2004) uma “*feature* é uma característica de produto que é utilizada em programas distintos dentro de uma família de programas relacionados (exemplo, LPS)”. Em outro estudo, Batory (2005) descreve uma *feature* como “um incremento na funcionalidade do programa”. Ainda, o estudo de Zave (2003) define uma *feature* em termos de funcionalidade, sendo que “uma *feature* de um sistema de software é uma unidade opcional e incremental de funcionalidade”. Esses últimos estudos descrevem uma *feature* como uma característica de produto que pode ser personalizada em relação as suas funcionalidades em um sistema de software em LPS.

Uma *feature* pode ser considerada uma primeira abstração que necessita ser compartilhada entre desenvolvedores e clientes para a compreensão de domínios diferentes na engenharia de LPS (KANG *et al.*, 1998; APEL *et al.*, 2013). Ainda, segundo Apel *et al.* (2013), uma *feature* é definida detalhadamente como:

“Uma característica ou um comportamento visível ao usuário final de um sistema de software. *Features* são utilizadas na engenharia de linha de produto para especificar e comunicar pontos em comum e diferenças dos

produtos entre as partes interessadas (*stakeholders*) e para orientar a estrutura, reúso e variação em todas as fases do ciclo de vida do software.”

Tendo em vista que as *features* são utilizadas na ED em LPS para representar o espaço do problema, Berger *et al.* (2015) discute que um produto deve ser gerenciado com base em pontos comuns e variáveis. Assim, o estudo de Berger *et al.* (2015) descreve que “esses pontos são frequentemente capturados de maneira abstrata utilizando entidades denominadas de *features*”.

Em relação ao nível de abstração de *features*, Krüger *et al.* (2018) apresenta a divisão das *features* como unidades de variabilidade e funcionalidade. Uma *feature* é considerada inicialmente uma variabilidade opcional gerenciada por meio de um mecanismo de variabilidades. Uma *feature* pode representar uma funcionalidade mandatória em um produto em LPS (KRÜGER *et al.*, 2019).

Independentemente do nível de abstração de *feature*, a atividade de modelagem de características aliada a atividade de GV são fundamentais para a gestão das *features* em um produto ou sistema de software na engenharia de LPS.

#### 2.2.1.1.3 Modelagem e representação de *features*

O estudo de Lee *et al.* (2002) apresenta a modelagem de *features* como uma “atividade de identificar externamente *features* visíveis de produtos em um domínio e organizá-las dentro de um modelo denominado *feature model*”. As *features* externas são advindas durante a análise de domínio perante a perspectiva da ED em LPS. As *features* em Lee *et al.* (2002) são organizadas e atribuídas às diretrizes para guiar a modelagem de *features*. As *features* de produto são organizadas em camadas que incluem *features* de capacidade, ambiente de operação, tecnologia de domínio e técnica de implementação.

Segundo Apel *et al.* (2013) a modelagem de *features* consiste em representar uma LPS com *features* comuns e variáveis. As *features*, normalmente, estão relacionadas entre si e possuem restrições que delimitam a seleção de *features* para a geração de produtos válidos.

As *features* são representadas em um *feature model*. Tal modelo é uma abstração de domínio que contém a descrição das *features* documentadas e associadas com seus relacionamentos. As características em um *feature model* são representadas por meio de um diagrama de características.

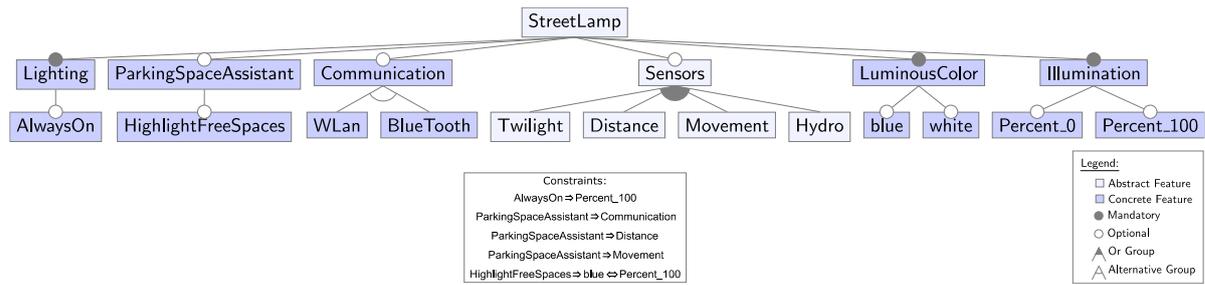
Um diagrama de *features* é definido como uma representação gráfica que possui uma hierarquia estrutural ou conceitual de *features* com relacionamentos (E, OU) entre essas *features* (LEE *et al.*, 2002; APEL *et al.*, 2013). Nesse diagrama, as *features* podem ser selecionadas manualmente para a derivação de produtos (APEL *et al.*, 2013).

A modelagem de *features* é utilizada, principalmente, na análise de domínio. O espaço do problema é o principal cenário em que a modelagem do domínio é realizada (APEL *et al.*, 2013). Lettner *et al.* (2015) considera o espaço do problema como especificações de *features* durante a análise de domínio. Especificamente, o espaço do problema é referente “a perspectiva dos stakeholders e seus problemas, requisitos, e visualizações de todo o domínio e produtos individuais” (APEL *et al.*, 2013).

Neste cenário, algumas informações sobre as *features* podem ser identificadas durante a modelagem de *features* (APEL *et al.*, 2013). Dentre essas informações, estão: (i) descrição das *features*, (ii) relacionamentos entre as *features*, (iii) dependências externas, (iv) tipos de *stakeholders*, (v) custos associados, (vi) configuração do conhecimento, (vii) restrições entre as *features*, (viii) propriedades não funcionais, (ix) atributos adicionais, e (x) interação entre as *features*, que inclui o comportamento das *features* (APEL *et al.*, 2013).

Durante a modelagem de *features*, os principais tipos de *features* e restrições são atribuídas ao modelo (CZARNECKI e EISENECKER, 2000; APEL *et al.*, 2013): (i) mandatória, a *feature* deve ser selecionada obrigatoriamente; (ii) opcional, a *feature* pode ou não ser selecionada; (iii) grupo OU de *features*, pelo menos uma ou várias *features* podem ou não ser selecionadas; e (iv) grupo alternativo de *features*, quando somente uma das *features* do grupo deve ser selecionada.

A Figura 15 apresenta um exemplo de *feature model*, representando os tipos de *features* e restrições para um cenário de iluminação pública no domínio de cidades inteligentes (KNEER e KAMSTIES, 2016). Por exemplo, no *feature model* chamado de *Public Street Light* (característica *StreetLamp*), a *feature Lighting* é obrigatória para iluminar uma rua pública. A *feature AlwaysOn* é opcional e pode ser selecionada para iluminar a rua em até 100% por meio da seleção da *feature Percent\_100*. A *AlwaysOn* é uma *feature* filha da *feature Lighting*. A restrição "*AlwaysOn implica (implies) Percent\_100*" ocorre quando a *feature AlwaysOn* é selecionada e a rua é iluminada totalmente (100%) por meio da seleção da *feature Percent\_100*.



**Figura 15. Exemplo de uma configuração do *feature model* do *Public Street Light* (Anexo B). Adaptada de Kneer e Kamsties (2016).**

Além dos tipos e restrições na modelagem de *features*, deve-se considerar o conceito de rastreabilidade (APEL *et al.*, 2013):

“Rastreabilidade de características é a habilidade de rastrear uma característica a partir do espaço do problema (por exemplo, o *feature model*) para o espaço da solução (manifestação no projeto e artefatos de código).”

Para otimizar a modelagem de *features* com diferentes tipos, restrições, bem como incluir a rastreabilidade de *features*, um *feature model* pode ser criado por meio da utilização de um método.

#### 2.2.1.1.4 Métodos para modelagem de *features*

O estudo de Li *et al.* (2020) apresenta um *survey* com um histórico de métodos de modelagem de *features* para áreas de pesquisa emergentes como SCF e IoT. É importante ressaltar que o método principal para a modelagem de *features* foi desenvolvido por Kang *et al.* (1990), o qual continua sendo adotado e adaptado em diferentes pesquisas.

O método FODA de Kang *et al.* (1990) considera um conjunto de *features* como membros de produtos representados em um *feature model*. Esta representação é criada por meio de estrutura hierárquica no formato de árvore. O objetivo é descrever suas *features* como possíveis variabilidades aplicando restrições na árvore para realizar a modelagem de variabilidades (KANG *et al.*, 1990; BOSCH e LEE, 2010).

O método FODA foi estendido em outro estudo de Kang *et al.* (1998) por meio da proposta de extensão *Feature-Oriented Reuse Method* (FORM) no contexto arquitetural e para componentes. No estudo de Ajila e Tierney (2002) o método FODA foi estendido em uma nova abordagem chamada *Feature-Object Oriented Modeling* (FOOM). Os conceitos sobre modelagem de *features* e o método FODA são essenciais para o desenvolvimento da proposta desta pesquisa, apresentada em

detalhes no CAPÍTULO 5. Além disso, o método FODA é um dos principais métodos que vem sendo adaptado no contexto de estudos entre SCF e LPS para modelagem de variabilidades.

#### 2.2.1.1.5 Modelagem de variabilidades em SCF

Para representar a modelagem de variabilidades em LPS, as Revisões Sistemáticas da Literatura (RSL) conduzidas por Chen e Ali Babar (2011) e Galster *et al.* (2013) identificaram várias abordagens, métodos e técnicas. Em adição, o estudo terciário de Raatikainen *et al.* (2019) identificou vários modelos de variabilidades pouco explorados quanto a quantidade e maturidade desses modelos. Estas RSLs não identificaram abordagens específicas e efetivas para modelagem de variabilidades com LPS em SCF. Com isso, duas revisões sistemáticas foram conduzidas no escopo desta pesquisa (CAPÍTULO 4). Uma revisão entre LPS, IoT e GV, e outra entre LPS, SCF e GV. Conforme Krüger *et al.* (2017), o GV em SCF não é uma atividade trivial em razão da complexidade no gerenciamento entre as partes ciber (software) e física (hardware).

Um SCF é interdisciplinar e possui uma grande quantidade de variações e *features* que impactam na efetividade da sua modelagem (CAPÍTULO 2 - Seção 2.1.2). Essas variações são pontuadas como variabilidades em LPS e classificadas por Krüger *et al.* (2017) como aspectos de variabilidades em SCF. Dentre estes aspectos, estão:

- **Variabilidade em Componentes:** aborda a modelagem de variabilidades em nível de *Hardware* (sensores e atuadores), em Modelo de Dados (mudanças na interpretação dos dados, por exemplo, agrupamento dos dados) e no Comportamento dos componentes (algoritmos e tarefas de um componente de *hardware*).
- **Variabilidade em Contexto:** envolve a operação de um SCF e seus componentes conforme o contexto do ambiente. Consiste em adaptações contextuais por meio de Casos de Uso, Requisitos e mudanças de Ambiente.
- **Hierarquia de Variabilidade:** engloba as interações estruturadas dos componentes em SCF em dois modelos de variabilidade, Intramodelo e Intermodelo. No Intramodelo um único componente e suas partes são

especificadas. O Intermelo contém a estrutura das dependências e interações entre os componentes.

- **Variabilidade em Qualidade:** consiste em requisitos não-funcionais como Desempenho, Segurança e Correção, que devem ser adaptados conforme o contexto e as necessidades do usuário. A segurança deve proteger os humanos conforme as variações do ambiente. A correção contém testes que são executados de acordo com a análise do comportamento do SCF.
- **Tempo de Variabilidade:** abrange duas variabilidades passíveis de adaptação em SCF durante o Tempo de Projeto (*Design-Time*) ou em Tempo de Execução (*Runtime*). Uma variabilidade pode ser especificada antes da sua execução durante o tempo de projeto. Durante o tempo de execução a variabilidade deve ser capaz de se adaptar durante a execução no contexto de SCF.

A Figura 16 representa os aspectos de variabilidades investigados e apresentados como questões de pesquisa entre SCF e LPS (KRÜGER *et al.*, 2017).

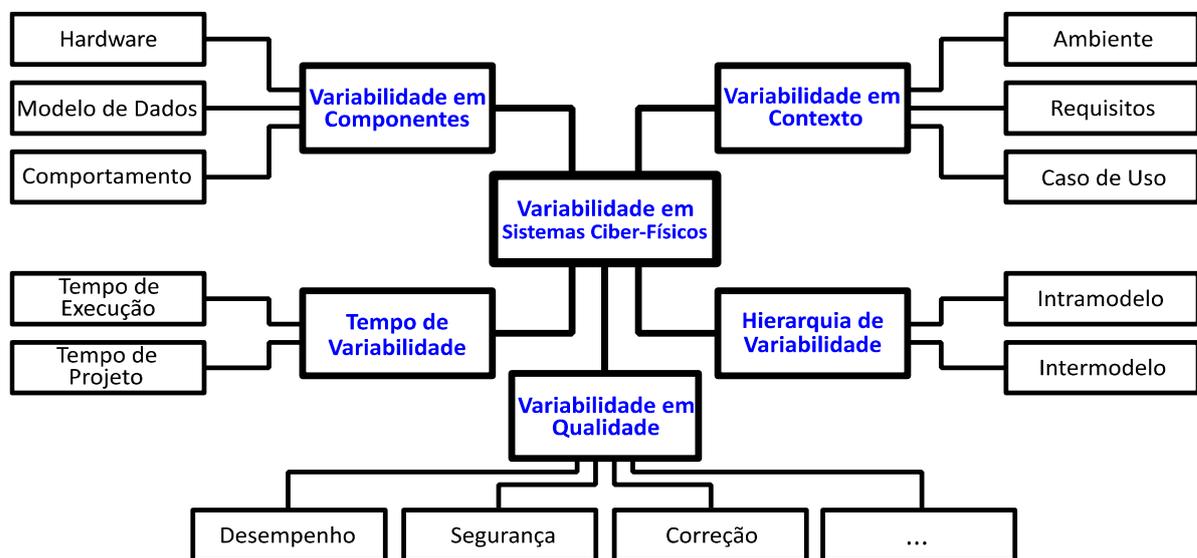


Figura 16. Tipos de variabilidades em SCF. Traduzido de Krüger *et al.* (2017).

### 2.3 Considerações sobre o capítulo

Neste capítulo foram apresentados os conceitos básicos para o desenvolvimento desta pesquisa, sobre SCF, LPS, GV e modelagem de *features*. A partir dos conceitos fundamentais dessas áreas, o próximo capítulo apresenta em

detalhes o estado da arte referente aos trabalhos relacionados entre SCF, LPS e GV. Vários trabalhos utilizam a modelagem de *features* para modelar e/ou gerenciar variabilidades em SCF. Esses trabalhos são comparados com o processo ProVarMod4CPS, desenvolvido nesta pesquisa (CAPÍTULO 5).

## CAPÍTULO 3 - TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta os trabalhos relacionados selecionados mais próximos ao processo desenvolvido nesta tese, chamado Processo Proativo de Modelagem de Variabilidades para Sistemas Ciber-Físicos, em inglês, ***Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems***: ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 5). Cada trabalho relacionado é sintetizado e comparado com o ProVarMod4CPS. Esse cenário é fundamental para posicionar os diferenciais do ProVarMod4CPS em direção a sua melhoria contínua.

### 3.1 Trabalhos Relacionados

Dentre os 53 estudos primários selecionados na RSL (iniciada em 2019 - seção 4.3.1.1), vários estudos primários são apresentados como trabalhos relacionados para comparação com o ProVarMod4CPS, descrito no CAPÍTULO 5. Entre os anos de 2020-2022, foram identificados na literatura 11 trabalhos relacionados mais próximos, os quais são comparados com o ProVarMod4CPS.

A Figura 17 apresenta os principais projetos de pesquisa e seus trabalhos relacionados em ordem de proximidade com o ProVarMod4CPS.

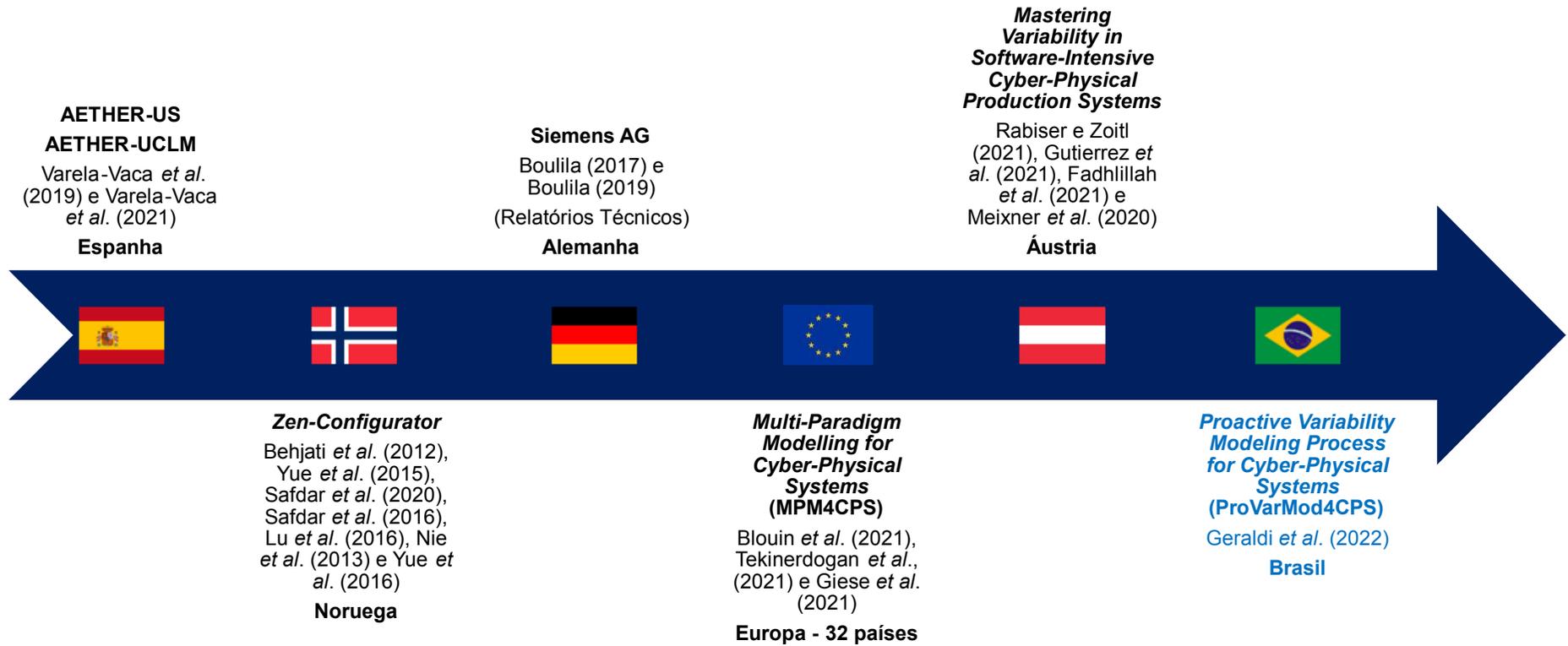


Figura 17. Principais Projetos de Pesquisa, seus Trabalhos Relacionados e Locais. Em ordem de proximidade com o ProVarMod4CPS.

Os trabalhos relacionados são classificados como diretos (mais próximos) e indiretos para comparação com o ProVarMod4CPS. A Tabela 1 apresenta os trabalhos relacionados mais próximos para comparação com o ProVarMod4CPS. A Tabela 2 ilustra os trabalhos relacionados com características indiretas para fins de comparação com o ProVarMod4CPS. As tabelas apresentam uma estrutura com 9 campos, utilizados para identificar e citar as características de cada um dos trabalhos relacionados:

- **Abordagens / Autores.** Cita o nome da abordagem desenvolvida e a citação dos autores de cada trabalho relacionado.
- **Estratégia de Adoção.** Especifica o tipo de estratégia para a iniciar a modelagem em SCF. Os tipos de estratégia são baseados na engenharia moderna de LPS, atualizada por Krüger *et al.* (2020): Proativa, Reativa e Extrativa.
- **Artefatos.** Apresenta os possíveis tipos de artefatos base incluídos em cada trabalho relacionado: Abordagem/*Framework/Workflow/Processo*, Diretrizes, Checklist/Modelo de Decisão.
- **Tipo de Representação.** Abrange dois tipos de representação mais comuns e recorrentes nos trabalhos relacionados: *Feature Model* e Diagramas UML. São os tipos de representação.
- **Tempo de Resolução.** Consiste em duas fases que definem quando ocorre a modelagem em SCF: Tempo de Projeto (*Design-Time*) e Tempo de Execução (*Runtime*).
- **Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (*Smart Environment*).** Cita qual é o domínio de aplicação do SCF explorado pela abordagem de cada trabalho relacionado.
- **Mecanismo de GV (Pontos de Variação).** Apresenta o nome do mecanismo ou possíveis tipos de pontos de variação para GV relacionados com cada estudo.
- **Ferramentas/Algoritmos.** Menciona quais os recursos de apoio que desenvolvidos em cada um dos trabalhos relacionados.
- **Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens contidas nos estudos.**

Tabela 1. Trabalhos Relacionados entre SCF, LPS e GV comparados com o ProVarMod4CPS.

Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação		Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design- Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico			
ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organizacionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomendações para modelagem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
Abordagem heterogênea e multidimensional para modelagem de variabilidades em SPCF   Fadhillah et al. (2021)	-	✓ (Abordagem)	-	✓ (Modelo de Decisão será desenvolvido com questões binárias de valores inteiros)	✓	-	-	-	Sistemas Ciber-Físicos de Produção (SPCF) (Cyber-Physical Production Systems)	-	-	Adoção da abordagem Feature Candidate Identification (PPR-FCI) de Meixner et al. (2020) e a FeatureIDE (EclipseIDE plugin)
Abordagem para gerenciar e modelar variabilidades em SPCF baseados na IEC 61499-1 utilizando Deltas   Fadhillah et al. (2021a)	-	✓ (Abordagem)	✓ (Diretrizes serão criadas a partir da IEC 61499-1)	-	-	-	✓	-	SPCF	-	-	Domain Specific Language (DSL) (IEC 61499-1), Modelagem de Variabilidades Orientada a Deltas (Delta-oriented variability model) e Eclipse 4diac <sup>17</sup>
Abordagem de gerenciamento de variabilidades multidisciplinar	-	✓ (Abordagem)	-	✓	✓	-	✓	-	SPCF	-	Ferramenta V4rdiac - Extensão da Eclipse 4diac.	Eclipse 4diac, TRAVART e FeatureIDE

<sup>17</sup> Eclipse 4diac: <https://www.eclipse.org/4diac/>

Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação		Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design- Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico			
ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organizacionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomendações para modelagem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
orientado a deltas - Fadhiliah <i>et al.</i> (2022)												
Abordagem de Visões Multi-Disciplinares com Produto-Processo-Recursos (Product-Process-Resources (PPR))   Meixner <i>et al.</i> (2019)	-	✓ (Abordagem)	-	-	✓	-	✓	-	SPCF/Assembly Sequence PPR VM for Rocker Switches e Cake Baking	-	-	Formal Process Description (FPD); Decision Modeling (DM); e OVM.
Abordagem para Feature Candidate Identification (PPR-FCI) e PPR variability (PPRVar)   Meixner <i>et al.</i> (2020) e Meixner (2020)	-	✓ (Abordagem)	-	✓ (Modelo de decisão para determinar sequência do processo de produção em SPCF)	✓ (Representa variabilidades estruturais)	-	✓	-	SPCF/Assembly Sequence PPR VM for Rocker Switches	-	-	DSL e Formalized Process Description (FPD)
Abordagem Iterative Process Sequence Exploration (IPSE) - Meixner <i>et al.</i> (2022)	-	✓ (Processo)	-	✓	✓ (Representa variabilidades estruturais e comportamentais)	-	✓	-	SPCF	-	-	PPR-DSL, Feature Model e DM
Base ontológica para modelagem multi-paradigma para SCF   Blouin <i>et al.</i> (2021)	-	✓ (Ontologia para modelagem)	-	-	✓ (Representa uma classificação das	-	✓	✓	Transporte (Ensemble-	✓ (A Ontologia a pode ser	-	Diferentes ferramentas são combinadas para a  Web Ontology Language

Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação			Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design- Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico	Qualquer domínio			
ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organiza- cionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomen- dações para modela- gem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
Ontologia baseada em características para SCF   Tekinerdogan <i>et al.</i> (2021a)	-	multi- paradigma para SCF)			características comuns de SCF em cinco níveis				Based CPS <sup>18)</sup> e Robótica (HPI Autonomous Robot <sup>19)</sup>	adaptad a no futuro)		execução dos domínios de transporte e robótica	(OWL) <sup>20)</sup> , Protégé <sup>21)</sup> (notação OntoGraf), Description Logic (DL), FeatureIDE, XML schema, XSD (XML schema definition) e Ecore <sup>22)</sup> .
Ontologia para modelagem multi- paradigma   Giese <i>et al.</i> (2021)	-												
Arquitetura e Diretrizes para SPCF   Boullila (2017) e Boullila (2019)	-	✓ (Arquitetura)	✓ (Caracte- rísticas de alto-nível para SPCF)						SPCF				
SimPL   Behjati <i>et al.</i> (2012)	-		✓ (ICS)			✓ (Classe)	✓	✓	Integrated Control Systems (ICS)			✓	MARTE e OCL

<sup>18</sup> Ambiente de desenvolvimento *Ensemble-Based CPS*. Departamento D3S. Universidade de Charles (Praga): <http://d3s.mff.cuni.cz/>

<sup>19</sup> HPI *Autonomous Robot*. Laboratório CPSLab. Instituto Hasso Plattner (HPI). Universidade de Potsdam: <http://www.cpslab.de/> / <http://www.hpi.de>

<sup>20</sup> Web Ontology Language (OWL): <https://www.w3.org/OWL/>

<sup>21</sup> Ferramenta Protégé: <https://protege.stanford.edu/>

<sup>22</sup> Ecore *models*: <https://www.eclipse.org/modeling/emf/>

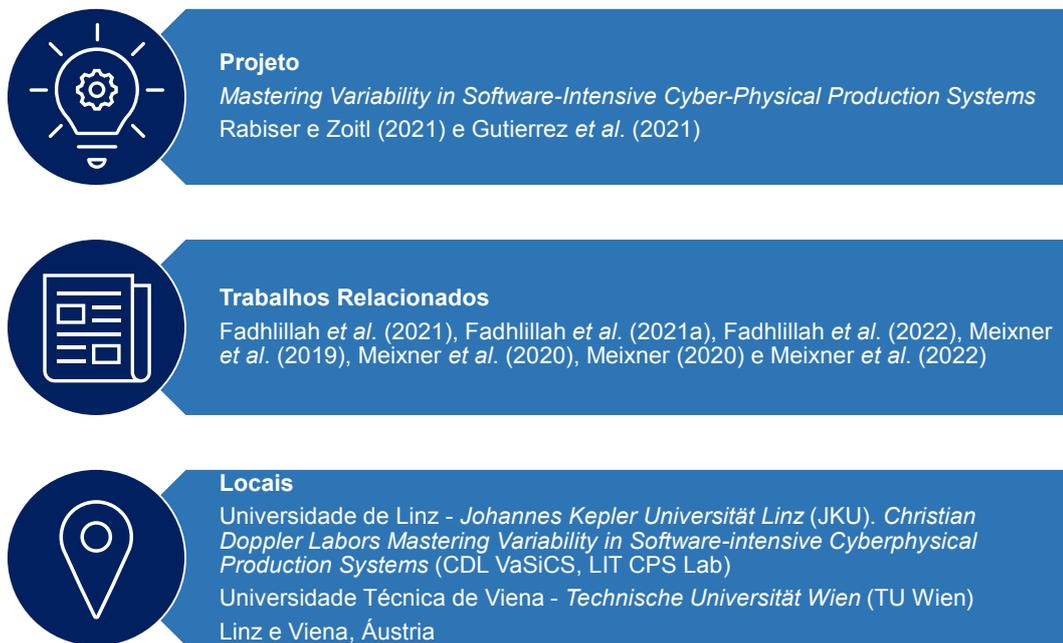
Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação			Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design- Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico	Qualquer domínio			
<b>ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa</b>	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organizacionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomendações para modelagem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
Análise de Domínios   Yue <i>et al.</i> (2015)	-	✓	✓ (ICS)	-	-	✓	✓	✓	Subsea Production Systems e Domínio de Exploração de Óleo e Gás	-	✓ (Zen-RUCM)	✓ (Zen-Configurator)	Model Based System Engineering (MBSE)
Framework multi-estágio e multi-passo para SCF   Safdar <i>et al.</i> (2020)	-	✓ (Framework)	✓ (ICS)	-	-	✓	✓	✓	Veículos Automáticos Guiados (Automatic Guided Vehicle (AGV)) e Handling Systems	-	✓ (Zen-Configurator)	-	MARTE, OCL, UML e MBSE
Avaliação de Técnicas de Modelagem de Variabilidades (Variability Modeling Techniques (VMTs)) para SCF   Safdar <i>et al.</i> (2016)	-	✓	-	-	-	-	-	-	Subsea Production Systems	-	✓ (Tipos de Pontos de Variação)	-	Modelagem de Características, Modelagem de Características baseada em Cardinalidade, Common Variability Language (CVL) e SimPL
Zen-CC   Lu <i>et al.</i> (2016)	-	✓	-	-	-	-	-	✓	Subsea Production Systems	-	✓ Zen-CC (verificação de regras de conformidade em configurações de pontos de variação)	Algoritmo Dynamic Validation Forest e OCL	Zen-CC - Plugin EclipseIDE
Constraints   Nie <i>et al.</i> (2013)	-	✓	-	-	-	✓ (Classe)	-	✓	Subsea Production Systems, Video Conferencing Systems e Vessel	-	-	-	OCL

Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação			Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design-Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico	Qualquer domínio			
ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organizacionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomendações para modelagem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
Zen-DO   Yue <i>et al.</i> (2016)	-	-	-	-	-	-	-	✓	Prognostics and Health Management Systems  Crisis Management System (CMS); Subsea Control.	-	✓ (Zen-DO + Zen-Configurator)	-	Alternating Variable Method (AVM), (1+1) Evolutionary Algorithm, Genetic Algorithm, e Random Search.
Cybersecurity Software Product Line (CyberSPL) framework   Varela-Vaca <i>et al.</i> (2019)	-	✓ (Workflow)	-	-	✓	-	✓	✓	Ciber-segurança (políticas) nos modelos de características: Apache; SSL/TLS; Android; e Linux.	-	✓	✓ (Ferramenta web CyberSPL)	FAMA framework, REST API, e ChoccoSolver
CARMEN: framework de segurança em SCF   Varela-Vaca <i>et al.</i> (2021)	-	✓ (Framework)	✓ (Baseadas na ENISA <sup>23</sup> e OWASP <sup>24</sup> )	-	✓ (Modelo com características de segurança)	✓ (Meta-modelo)	✓	-	Agricultura Hidropônica	-	-	Gramática comum para descrever os requisitos de segurança	FODA

<sup>23</sup> European Union Agency for Cybersecurity (ENISA): <https://www.enisa.europa.eu/publications/baseline-security-recommendations-for-iot>

<sup>24</sup> Open Web Application Security Project (OWASP). Internet of Things Project: [https://wiki.owasp.org/index.php/OWASP\\_Internet\\_of\\_Things\\_Project](https://wiki.owasp.org/index.php/OWASP_Internet_of_Things_Project)

O estudo de Fadhlillah *et al.* (2021) é o trabalho relacionado mais próximo com a solução concebida nesta Tese, chamada de processo ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 5). A Figura 18 posiciona o estudo de Fadhlillah *et al.* (2021) e o projeto de pesquisa *Mastering Variability in Software-Intensive Cyber-Physical Production Systems*. Os parágrafos a seguir apresentam os trabalhos relacionados e os locais onde as pesquisas foram conduzidas em tal projeto para fins de comparação com o ProVarMod4CPS.



**Figura 18. Projeto *Mastering Variability in Software-Intensive Cyber-Physical Production Systems*.**

O trabalho de Fadhlillah *et al.* (2021) propõe o desenvolvimento de uma abordagem heterogênea e multidimensional para modelagem de quatro tipos de variabilidades no domínio de SPCF. A ideia preliminar de Fadhlillah *et al.* (2021) é especificar sua abordagem em níveis e tipos diferentes de variabilidades para tentar garantir uma modelagem multidimensional e consistente.

Primeiro, Fadhlillah *et al.* (2021) estenderá uma abordagem existente chamada *Feature Candidate Identification* (PPR-FCI) (MEIXNER *et al.*, 2020) que abrangerá características candidatas durante um tipo de modelagem chamada de Variabilidades de Processo (*Process Variability*) baseada na abordagem Processo-Produto-Recursos (PPR) (MEIXNER *et al.*, 2020). Nesta primeira fase da abordagem de Fadhlillah *et al.* (2021), serão investigadas possíveis restrições (*constraints*) e formas

de sincronizar a utilização de diferentes tipos de variabilidades de acordo com papéis adequados (por exemplo, engenheiros e clientes) no contexto de SPCF. As restrições que serão especificadas, são consideradas um dos primeiros passos por Fadhlillah *et al.* (2021), que levará em consideração um tipo de variabilidade chamado Restrições Dimensionais Transversais (*Cross-Dimensional Constraints*).

Além da modelagem de Variabilidades de Processo e de Restrições, Fadhlillah *et al.* (2021) desenvolverão mais dois tipos de variabilidades denominadas Variabilidade Mecatrônica (*Mechatronics Variability*) e Variabilidade de Negócio (*Business Variability*). As variabilidades do tipo Variabilidade Mecatrônica serão representadas por meio de características (*features*) em um *feature model* (modelado na FeatureIDE) para alguma disciplina específica (mecânica ou eletrônica) no domínio de SPCF. A Variabilidade de Negócio será especificada utilizando um modelo de decisão com questões binárias com opções de respostas de valores inteiros (positivo ou negativo). Cada tipo de variabilidade terá um papel específico durante a modelagem de variabilidades no domínio de SPCF.

Os tipos de variabilidades que serão desenvolvidos dentro da abordagem proposta por Fadhlillah *et al.* (2021) tentarão resolver três desafios principais (traduzidos na íntegra): (i) “*expressar variabilidade multidisciplinar em SPCF utilizando artefatos heterogêneos*”, neste desafio a ideia será tentar capturar variabilidades utilizando vários modelos de variabilidades de forma multidisciplinar em SPCF por meio de artefatos heterogêneos; (ii) “*criar um mecanismos de configuração de produtos baseado em artefatos heterogêneos em variabilidades de SPCF*”, neste desafio será proposto um mecanismo que se ajuste em empresas e indústrias distintas e que seja flexível quanto a adaptação de artefatos heterogêneos; (iii) “*verificação de consistência para SPCF (e seus artefatos), representando modelos de variabilidade durante sua evolução*”, a ideia é tornar os artefatos adaptáveis e ajustáveis durante a modelagem de variabilidades em SPCF.

A partir dos tipos de variabilidades e os desafios delimitados, Fadhlillah *et al.* (2021) criarão uma representação uniforme entre vários tipos de abordagens de modelagem de variabilidades já existentes na literatura. A ideia é que essas abordagens sejam estendidas, não adaptadas e não se mantenham dependentes da abordagem que será desenvolvida por Fadhlillah *et al.* (2021). As seguintes abordagens serão estendidas por Fadhlillah *et al.* (2021): InVar (GALINDO *et al.*, 2015), TRAVART (FEICHTINGER *et al.*, 2021), UVL (SUNDERMANN *et al.*, 2021) e

VERT (FEICHTINGER *et al.*, 2020). Uma ferramenta e formalização preliminares serão desenvolvidas utilizando a abordagem InVar e a abordagem de transformação de modelos VERT.

Conforme as variabilidades propostas no estudo de Fadhlillah *et al.* (2021), o estudo de Fadhlillah *et al.* (2022) apresenta em detalhes tais variabilidades em três tipos diferentes. As variabilidades foram representadas em um *workflow* implementado como uma ferramenta chamada V4rdiac (baseada no Eclipse 4diac) no contexto de SPCF. A V4rdiac fornece três variabilidades estruturadas em três disciplinas de SPCF (mecatrônica, negócio e eletrônica): 1º tipo de variabilidade é representado por modelos de características, utilizados por engenheiros mecânicos; 2º tipo de variabilidade é representado por modelos de decisão para especialistas de negócios (especialistas de domínio); e 3º tipo de variabilidade é descrito por meio da linguagem CVL para engenheiros eletrônicos e/ou elétricos. Outros dois tipos de variabilidades abrangem engenheiros de projeto e engenheiros de software (controle). Essas variabilidades são transversais e posicionadas no espaço do problema e da solução no contexto de SPCF. Assim, os SPCF devem ser desenvolvidos com base em deltas, utilizando os mecanismos da V4rdiac e seguindo a norma IEC 61499.

O ProVarMod4CPS (nesta Tese) é diferente em vários aspectos da abordagem de Fadhlillah *et al.* (2021) e Fadhlillah *et al.* (2022). O processo ProVarMod4CPS e seus diferentes artefatos estão em fase de melhoria contínua. O ProVarMod4CPS é representado por meio de um processo BPMN original e atua estrategicamente de forma proativa com base na engenharia moderna de LPS, atualizada por Krüger (2020). Nenhuma estratégia de adoção foi mencionada na abordagem que será projetada por Fadhlillah *et al.* (2021).

No ProVarMod4CPS, dois tipos de variabilidades foram desenvolvidas e são chamadas de variabilidades técnicas e organizacionais. Fadhlillah *et al.* (2021) e Fadhlillah *et al.* (2022) apresentam os tipos de variabilidades apenas para o contexto de SPCF. Os tipos de variabilidades do ProVarMod4CPS estão representados em um único *feature model* e relacionadas com diretrizes. As diretrizes criadas guiam a modelagem e fornecem recomendações de modelagem de variabilidades em SCF nos domínios da agricultura arável e cidades inteligentes. Outros domínios de SCF podem se apropriar e aplicar tais variabilidades técnicas e organizacionais para tornar a modelagem mais consistente. O ProVarMod4CPS já possui restrições e um artefato

no formato de um *checklist* para manter a consistência na modelagem. Em relação as diretrizes, Fadhlillah *et al.* (2021) e Fadhlillah *et al.* (2022) não mencionam sobre o desenvolvimento de diretrizes para guiar a modelagem de variabilidades multidimensional em SPCF.

Fadhlillah *et al.* (2021) e Fadhlillah *et al.* (2022) defendem a ideia de que um único *feature model* não pode contemplar várias disciplinas em SPCF. Entretanto, o ProVarMod4CPS é contrário a esta ideia e defende a abstração de um único *feature model* para auxiliar na modelagem de variabilidades e verificar pelo menos as características principais em qualquer domínio de SCF. Este cenário de modelagem pode auxiliar e evoluir a modelagem de novos SCF. Deste modo, no futuro, pode se especializar e instanciar vários modelos de características para novas disciplinas e/ou domínios em SCF. Assim, o ProVarMod4CPS fornece um novo nível de abstração, diretrizes, recomendações e uma classificação das características principais para a modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais em SCF apoiada por *Feature Models* e utilizando como apoio a engenharia moderna de LPS.

Fadhlillah *et al.* (2021) estenderá abordagens de modelagem de variabilidades da literatura para criar sua abordagem (InVar (GALINDO *et al.*, 2015), TRAVART (FEICHTINGER *et al.*, 2021), UVL (SUNDERMANN *et al.*, 2021) e VERT (FEICHTINGER *et al.*, 2020)). No entanto, Fadhlillah *et al.* (2021) não mencionam se a abordagem estará em tempo de projeto (*design-time*) ou em tempo de execução (*runtime*). Até o momento, o ProVarMod4CPS não adaptará ou estenderá abordagens de modelagem de variabilidades existentes na literatura por estar em tempo de projeto. Além disso, são necessários mais estudos (empíricos, experimentos ou estudos de caso) para garantir tal extensão com qualidade.

Em outro estudo de Fadhlillah *et al.* (2021a), uma ideia de abordagem é brevemente apresentada para gerenciar variabilidades de SPCF com base na IEC 61499-1 por meio da modelagem de variabilidades orientada a deltas. Os modelos delta representam as condições e operações que podem ser configuráveis em sistemas, neste caso, em SPCF. A abordagem Fadhlillah *et al.* (2021a) pretende combinar a DSL da IEC 61499-1 e seus Blocos Funcionais (*Functional Blocks*) utilizando modelos de características em modelagens com deltas em um processo de transformação de modelos em SPCF com pelo menos uma ou mais variantes. Outros modelos podem ser utilizados para representar diferentes disciplinas de SPCF (por exemplo, mecânica ou eletrônica).

Um processo semiautomatizado é desenvolvido dentro da abordagem de Fadhlillah *et al.* (2021a) e Fadhlillah *et al.* (2022) para descrever as condições para modelos delta, tentar garantir a alta modularidade desses modelos e representar variantes válidas seguindo o que está estabelecido na IEC 61499-1. A ferramenta Eclipse 4diac é utilizada por Fadhlillah *et al.* (2022) para implementar os conceitos de modelagem de variabilidades orientado a deltas e por implementar implicitamente a IEC 61499-1.

A abordagem que será desenvolvida por Fadhlillah *et al.* (2021a) não contém diretrizes específicas para modelagem e utiliza a IEC 61499-1 apenas no domínio de SPCF. Diferentemente, o processo ProVarMod4CPS contempla domínios diferentes como agricultura e cidades inteligentes. Neste contexto, Fadhlillah *et al.* (2021a) reforçam que um único modelo não pode conter todas as características de um domínio de aplicação. Em contraste com tal fato, o *feature model* do ProVarMod4CPS representa e especifica as características principais como variabilidades técnicas e organizacionais na tentativa de englobar a modelagem de variabilidades em qualquer domínio de SCF. Além disso, tal *feature model* é apoiado por diretrizes e recomendações de modelagem expressas em um artefato chamado *checklist*.

O processo ProVarMod4CPS é representado utilizando BPMN e segue as ISOs (ISO/IEC, 2015) (ISO/IEC, 2019) de LPS estabelecidas na literatura. Entretanto, quando Fadhlillah *et al.* (2021a) desenvolver sua abordagem e evoluir a DSL da IEC 61499-1 em SPCF, tal abordagem pode ser complementar para evoluir o processo ProVarMod4CPS em novas pesquisas. Por fim, as duas propostas não foram automatizadas e têm seu tempo de resolução em tempo de projeto.

Após a comparação do ProVarMod4CPS com os estudos de Fadhlillah *et al.* (2021), Fadhlillah *et al.* (2021a) e Fadhlillah *et al.* (2022), os estudos de Meixner *et al.* (2019), Meixner *et al.* (2020), Meixner (2020) e Meixner *et al.* (2022) também têm articulações próximas ao ProVarMod4CPS. Os estudos de Meixner *et al.* (2019), Meixner *et al.* (2020), Meixner (2020) e Meixner *et al.* (2022) são comparados com o ProVarMod4CPS nos próximos parágrafos.

É importante reforçar que Fadhlillah *et al.* (2021) adapta a abordagem PPR de Meixner *et al.* (2020) em sua abordagem multidimensional para modelagem de variabilidades em SPCF. Os autores Fadhlillah *et al.* (2021) e Meixner *et al.* (2020) atuam nos mesmos grupos de pesquisa na Universidade de Linz (em alemão, *Johannes Kepler Universität Linz* - JKU (*Christian Doppler Labors Mastering Variability*

*in Software-Intensive Cyber-physical Production Systems* (CDL VaSiCS, LIT CPS Lab))) e possuem colaboração na Universidade Técnica de Viena (em alemão, *Technische Universität Wien* - TU Wien), ambas as universidades estão localizadas na Áustria. Os trabalhos desses autores são desenvolvidos no âmbito de um projeto de pesquisa entre as universidades JKU e TU Wien com um parceiro da indústria metalúrgica na Áustria.

O referido projeto chamado *Mastering Variability in Software-Intensive Cyber-Physical Production Systems* é proposto por Rabiser e Zoitl (2021) (em inglês) e estendido pelos mesmos autores em Gutierrez *et al.* (2021) (em alemão). O objetivo principal do projeto é dominar, sistematicamente, as variabilidades em SPCF por meio da adaptação de métodos e ferramentas da área de LPS. Esses estudos apresentam a problemática, questões de pesquisa abertas, objetivos de pesquisa e um roteiro de pesquisa “*para dominar a variabilidade em SPCF*” (RABISER e ZOITL, 2021; GUTIERREZ *et al.*, 2021).

A partir do projeto de pesquisa concebido por Rabiser e Zoitl (2021), no estudo de Meixner *et al.* (2019) o GV é explorado em uma abordagem chamada PPR no contexto de SPCF. A PPR inclui a combinação de três principais visualizações para SCF: (i) Variabilidade de Produto, contém as características e componentes do produto; (ii) Variabilidade de Processo, contém as características do processo; e (iii) Variabilidade de Recursos, os recursos executam os processos. A ideia preliminar da abordagem PPR foi estendida no estudo de Meixner *et al.* (2020) para PPR-FCI. A *Feature Candidate Identification* (FCI) é definida como um algoritmo que tem a responsabilidade de identificar possíveis candidatos a características e realizar extrações de acordo com os modelos da PPR. Com base na PPR-FCI, uma DSL foi desenvolvida e avaliada em Meixner *et al.* (2020) utilizando variantes de uma LPS chamada *Rocker Switch Product Line* na indústria.

A partir dos estudos de Meixner *et al.* (2019) e Meixner *et al.* (2020), no terceiro estudo de Meixner (2020) é proposta uma abordagem para modelagem de variabilidades para SPCF chamada PPRVar. Segundo a agenda de pesquisa de Meixner (2020), a abordagem PPRVar utiliza a PPR para melhorar modelos de produção em SPCF, guiando engenheiros neste contexto. A PPRVar está em fase de desenvolvimento e pode contribuir com a integração na modelagem de variabilidades estruturais e comportamentais em modelos de engenharia e produção em SPCF por meio da PPR. Um modelo de representação visual formal chamado *Formalized*

*Process Description* (FPD) é utilizado na representação da PPRVar. Assim, variabilidades de PPR podem ser representadas para auxiliar na modelagem de variabilidades por meio da PPRVar.

A abordagem PPRVar também adota modelos de características para representar variabilidades estruturais e modelos de decisão para determinar a sequência do processo de produção, bem como ajudar engenheiros e especialistas de domínio na modelagem em SPCF. Para desenvolver a PPRVar, Meixner (2020) define: (i) investigar qual modelo conceitual pode representar melhor PPRVar em SPCF; (ii) explorar se a PPRVar representa de forma precisa as variabilidades estruturais e comportamentais em processos de produção em SPCF; e (iii) como os pesquisadores podem utilizar a PPRVar de forma duradoura e eficiente durante a derivação de instâncias de processos de produção válidas. Portanto, Meixner (2020) apresenta vários objetivos, sendo: (i) projetar a PPR como um *framework* de variabilidades; (ii) projetar a abordagem de modelagem de variabilidades chamada PPRVar; (iii) projetar um método de derivação de instâncias de processo; (iv) criar protótipos de pesquisa; e (v) avaliar a utilidade e eficácia de métodos e modelos relacionados com a PPRVar. Para isso, serão conduzidos casos de estudo com parceiros industriais (Áustria) com engenheiros e pesquisadores de SPCF.

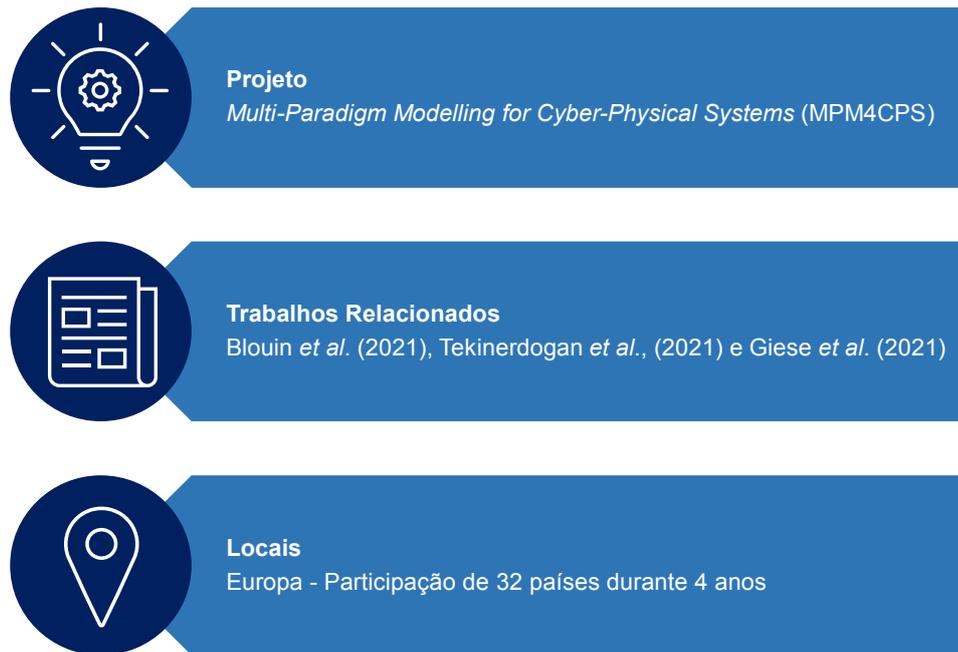
A partir dos trabalhos anteriores de Meixner *et al.*, em 2022, o estudo de Meixner *et al.* (2022) introduz uma abordagem chamada de *Iterative Process Sequence Exploration* (IPSE). Essa abordagem é representada como um processo para modelar SPCF por meio de transformações e configurações em cinco passos: “(i) definir o modelo PPR-DSL para SPCF; (ii) transformar o modelo PPR-DSL em modelos de características e em modelos de decisão; (iii) configurar os produtos por meio de modelos de características; (iv) reduzir o processo em modelos de decisão; e (v) explorar as configurações dos modelos de decisão”. Assim, esses passos do IPSE permitem a modelagem de variabilidades estruturais e comportamentais de SPCF. A modelagem desses dois tipos de variabilidades foi avaliada em um estudo de viabilidade preliminar em um SPCF na indústria automotiva.

O ProVarMod4CPS é um processo representado com BPMN e tem um conjunto de atividades, tarefas, artefatos e papéis para auxiliar na modelagem de dois tipos de variabilidades chamadas de técnicas e organizacionais. O ProVarMod4CPS difere dos três tipos de variabilidades representadas na PPR por atuar na modelagem de variabilidades de forma proativa em qualquer SCF, além do domínio de SPCF. Em

relação a extensão da PPRVar de Meixner (2020) e Meixner *et al.* (2022), o ProVarMod4CPS não permite a modelagem de variabilidades estruturais e comportamentais de modelos de processos de produção como a PPRVar. Entretanto, o ProVarMod4CPS possui um conjunto de diretrizes com recomendações que podem auxiliar na modelagem de variabilidades que afetam a estrutura ou comportamento de um SCF, mas sem considerar os conceitos de variabilidades PPR e a abordagem IPSE. O ProVarMod4CPS pode considerar visualizações multiperspectivas de variabilidades que podem ser modeladas como trabalhos futuros.

Até o momento, a PPRVar de Meixner (2020) e o IPSE de Meixner *et al.* (2022) não têm diretrizes ou um guia para a modelagem de variabilidades em SPCF. O ProVarMod4CPS engloba a especificação das principais características em diretrizes para SCF com variabilidades técnicas e organizacionais que vão além do domínio de SPCF. Especialistas de domínio, engenheiros de LPS e engenheiros de SCF (agricultura e cidades inteligentes, ou de qualquer domínio) podem adotar o processo ProVarMod4CPS e seus artefatos na modelagem de SCF. Diferentemente do ProVarMod4CPS, a PPRVar de Meixner (2020) considera a modelagem por dois papéis diferentes chamados de especialistas de domínio e engenheiros de produção (SPCF). Por fim, o ProVarMod4CPS encontra-se em fase de melhoria contínua, sendo avaliado por especialistas em LPS que atuam em universidades no Brasil. Pretende-se que novos estudos futuros sejam realizados na indústria brasileira.

Os próximos parágrafos apresentam três trabalhos relacionados identificados no projeto de pesquisa *Multi-Paradigm Modelling for Cyber-Physical Systems* (MPM4CPS). Cada trabalho é um capítulo do livro sobre o projeto MPM4CPS (TEKINERDOGAN *et al.*, 2021). O projeto teve a colaboração de pesquisadores, universidades, instituições e empresas de 32 países durante quatro anos. A Figura 19 posiciona o projeto MPM4CPS, seus trabalhos relacionados e os locais onde as pesquisas foram conduzidas.



**Figura 19. Projeto MPM4CPS.**

O principal objetivo do projeto MPM4CPS é combinar linguagens de modelagem, técnicas, modelos e ferramentas com base em um *framework* ontológico para o desenvolvimento de SCF. A ideia é garantir que modelos de diferentes sistemas, visualizações e domínios sejam combinados, mesmo estando em diferentes níveis de abstração. Essa abordagem de combinação é chamada de *Global Model Management (GMM)* ou *modeling-in-the-large*: “estabelece relações externas entre modelos e em entidades macro (meta-modelos e modelos), mas despreza os detalhes internos das entidades” (GIESE *et al.*, 2021) (TEKINERDOGAN *et al.*, 2021).

No primeiro trabalho do projeto MPM4CPS, Blouin *et al.* (2021) introduzem uma abordagem de modelagem para especificar um *framework* ontológico. A arquitetura do *framework* ontológico é apresentada por meio de quatro ontologias sendo uma ontologia compartilhada (*shared ontology*) com conceitos essenciais para as outras ontologias. A modelagem e a classificação estão posicionadas no domínio do problema e são realizadas por meio da adoção da *Web Ontology Language (OWL)* apoiada por uma lógica de descrição (*Description Logic (DL)*). A classificação deve auxiliar engenheiros durante o gerenciamento de modelos e na combinação de diferentes linguagens e técnicas de modelagem para o desenvolvimento de SCF. Assim, um diagrama de atividades simples foi criado para ajudar engenheiros durante a modelagem de domínio.

Em relação a modelagem para o desenvolvimento de SCF, um *feature model* foi especificado utilizando XML com a apoio da ferramenta FeatureIDE. O modelo foi o ponto de partida para a modelagem de aspectos comuns e variáveis de domínio para SCF. Assim, o modelo foi utilizado apenas como uma representação e convertido para ontologia, que possui poder de raciocínio. A ontologia foi especificada por meio da OWL com XML *schema* e XML *Schema Definition* (XSD) utilizando a ferramenta Protégé. A conversão dos modelos de características em ontologias foi realizada por meio de arquivos XML e XSD. Esses arquivos foram convertidos em meta modelos Ecore com a ferramenta de importação Ecore XSD *importer*. Os modelos Ecore também são arquivos XML. A transformação dos modelos é detalhada em um relatório técnico do projeto MPM4CPS em Al-Ali *et al.* (2020).

Em segundo trabalho do projeto MPM4CPS, Tekinerdogan *et al.* (2021a) apresentam em detalhes uma ontologia baseada em *features* (*feature model*) para o desenvolvimento de SCF. Um meta modelo e um *feature model* foram representados no domínio de SCF para conversão em ontologia. Os modelos e as ontologias criadas no contexto do projeto MPM4CPS estão disponíveis em: <https://github.com/dblouin/MPM4CPS-Ontology>.

O *feature model* é representado em tempo de projeto, sendo detalhado em cinco características raiz (*root*) obrigatórias (*mandatory*) no contexto de SCF:

- **Constituent Element.** Representa os elementos de SCF como características chamadas de elementos *Cyber*, *Physical*, *Control* e *Network*. O elemento *Human* é opcional.
- **Non-functional Requirements.** Representa e apresenta brevemente a descrição de cada um dos requisitos não funcionais para SCF. Dentre os 21 requisitos estão: *Accuracy*, *Adaptability*, *Availability*, *Composability*, *Compositionality*, *Confidentiality*, *Dependability*, *Efficiency*, *Heterogeneity*, *Integrity*, *Interoperability*, *Maintainability*, *Predictability*, *Reconfigurability*, *Reliability*, *Resilience*, *Robustness*, *Safety*, *Scalability*, *Security* e *Sustainability*.
- **Application Domains.** Apresenta alguns domínios de aplicação importantes no contexto de SCF como: Saúde, Manufatura Inteligente, Transporte, Controle de Processo, Defesa, Automação Predial, Serviços prestados por Robôs, Infraestrutura Crítica, dentre outros.

- **Disciplines.** Representa disciplinas de SCF como engenharia de software, engenharia mecânica, engenharia elétrica, engenharia civil, engenharia química, dentre outras.
- **Architecture.** Representa características que podem derivar uma arquitetura de referência preliminar para SCF. Essa arquitetura contém as seguintes camadas: *Management Layer, Application Layer, Services Layer, Network Layer, CPS Component Layer, Security Layer*. As camadas *Management* e *Security* são transversais as outras camadas.

No trabalho anterior de Blouin *et al.* (2021) e, neste trabalho, de Tekinerdogan *et al.* (2021a) dois casos de estudo foram conduzidos nos domínios de transporte e robótica. Esses estudos foram conduzidos em várias fases para criar os modelos do MPM4CPS, exemplificar configurações, bem como a utilização geral do *framework* ontológico. O caso de estudo chamado *Ensemble-Based Cyber-Physical Systems*, pertence ao domínio de transportes e possui um ambiente desenvolvido pelo laboratório D3S na Universidade de Charles (Praga - República Tcheca). O outro caso de estudo é chamado de *HPI Autonomous Robot* e foi conduzido no domínio de robôs autônomos, em tempo de execução, dentro do *CPSLab* no *Hasso Plattner Institute* (HPI) da Universidade de Potsdam.

No terceiro trabalho do projeto MPM4CPS, Giese *et al.* (2021) apresentam uma visão arquitetural do *framework* ontológico com ontologias combinadas na aplicação dos modelos no projeto MPM4CPS. Assim, são apresentados o núcleo de modelagem do MPM, a possível adoção de abordagens multi-formalismo e de gerenciamento de modelos, bem como linguagens, modelos, ferramentas e características fundamentais para apoiar a modelagem multi-paradigma. As ontologias e exemplos são apresentadas(os) por meio de simulações nos laboratórios utilizando os mesmos casos de estudo de Blouin *et al.* (2021) e Tekinerdogan *et al.* (2021a).

Ao comparar o projeto MPM4CPS com o processo ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 4), os artefatos do ProVarMod4CPS foram desenvolvidos com base na literatura de SCF, no ambiente acadêmico e avaliados por especialistas em LPS no Brasil. Não houve colaboração de empresas nacionais. Pretende-se melhorar o ProVarMod4CPS e aplicá-lo em algum domínio de SCF na indústria brasileira.

O ProVarMod4CPS foi modelado com base na BPMN e tem uma classificação de características baseada na literatura de SCF para a modelagem das características principais de SCF, representadas(os) como Variabilidades Técnicas e

Organizacionais em SCF (VTs e VOs). Um artefato contido no ProVarMod4CPS tem Diretrizes e recomendações para auxiliar na modelagem de SCF utilizando um *feature model* em tempo de projeto. Um *Checklist* é outro artefato do ProVarMod4CPS que ajuda a guiar a modelagem de SCF em conjunto com o artefato Diretrizes. O *feature model* e as ontologias do MPM4CPS não têm características baseadas na literatura, diretrizes associadas e um *checklist* de apoio para auxiliar e/ou guiar a modelagem de SCF.

O *feature model* do MPM4CPS possui cinco características raiz obrigatórias de alto nível e muito amplas (TEKINERDOGAN *et al.*, 2021a) quando comparadas com duas características raiz obrigatórias do ProVarMod4CPS (VTs e VOs). No MPM4CPS as cinco características raiz abrangem desde componentes básicos de SCF (partes ciber e física), os requisitos não-funcionais, domínios de aplicação, disciplinas e arquitetura de SCF. Todavia, tal classificação não é baseada na literatura (referências e citações) de SCF e não foi avaliada por especialistas (TEKINERDOGAN *et al.*, 2021a). Acredita-se que essa classificação foi criada conforme a conveniência dos casos de estudo conduzidos ao longo do projeto MPM4CPS. Não está claro como as características foram identificadas e/ou mapeadas e se foram avaliadas sistematicamente em estudos qualitativos ou quantitativos. Todos esses aspectos mencionados diferem o MPM4CPS do ProVarMod4CPS.

Segundo Rabiser e Zoitl (2021) não há como modelar todos os domínios de aplicação e disciplinas em um único *feature model* para um único tipo de SCF. Neste caso, Rabiser e Zoitl (2021) propõem dominar as variabilidades em um tipo de SCF focado na produção, chamado de SPCF. Rabiser e Zoitl (2021) discutem brevemente que o conhecimento do domínio é muito restrito e dependente de especialistas. O *feature model* do MPM4CPS, além de representar domínios e disciplinas para qualquer SCF, também representa os conceitos básicos, requisitos não-funcionais e conceitos de arquitetura de referência para SCF. Muito além da modelagem do MPM4CPS, é um grande desafio representar uma arquitetura de referência de SCF (mesmo que preliminar). Há um problema de abstração quando o MPM4CPS tenta representar uma arquitetura de SCF a partir de modelos de características ou ontologias. Esse cenário deveria ser considerado pelo projeto MPM4CPS por causa do tipo de modelagem e responsabilidades perante a área de arquitetura de referência.

Ainda, em acordo com Rabiser e Zoitl (2021), acredita-se que um modelo único com muitas características, em níveis de abstrações diferentes, de alto nível, pode prejudicar a modelagem de SCF incluindo muitas inconsistências durante a modelagem de SCF. Contudo, o ProVarMod4CPS apresenta um único modelo que pode ser dividido em dois modelos para modelagem de SCF: um modelo com VTs; e outro modelo com VOs. Portanto, os artefatos do processo ProVarMod4CPS consideram as principais características de SCF como duas dimensões representadas como variabilidades diferentes, VTs e VOs. O ProVarMod4CPS não representa domínios de aplicação, disciplinas e arquitetura de SCF como foi representado no MPM4CPS.

Em relação aos domínios de aplicação, o MPM4CPS foi avaliado em dois casos de estudo em domínio de transporte e robótica. O ProVarMod4CPS foi avaliado nos domínios de agricultura e cidades inteligentes. De qualquer modo, as duas propostas também possibilitam adaptações para a modelagem em qualquer domínio de SCF. As adaptações devem ser analisadas e realizadas com cautela para não provocar inconsistências em determinados domínios de SCF (mencionado anteriormente).

O MPM4CPS foi automatizado para auxiliar na modelagem de SCF em tempo de execução por meio de ontologias e a combinação de modelos, linguagens e ferramentas (GIESE *et al.*, 2021). É importante destacar que o ProVarMod4CPS poderá ser automatizado no futuro utilizando o paradigma moderno de LPS (KRÜGER *et al.*, 2020). A adoção de diferentes linguagens, ferramentas, métodos ou ontologias serão investigadas(os) para a extensão do ProVarMod4CPS em trabalhos futuros.

Os próximos parágrafos apresentam dois relatórios técnicos de Boulila (2017) e Boulila (2019) para comparação com o ProVarMod4CPS. Esses relatórios descrevem brevemente a estrutura de SCF no contexto industrial da Siemens AG. A Figura 20 ilustra o projeto, os relatórios técnicos e o local onde foi conduzida a pesquisa.



**Figura 20. Relatório Técnicos - Siemens AG.**

O relatório técnico de Boulila (2017) contém um conjunto de diretrizes preliminares e que foram especificadas internamente na Siemens AG (Munique/Alemanha) com o foco no desenvolvimento de SPCF. Segundo Boulila (2017), a estrutura dos SPCFs da Siemens AG tem uma arquitetura de três camadas que abrange Blocos de Construção (*Building Blocks*) e doze diretrizes em alto nível de abstração para o desenvolvimento de SPCF. Este relatório técnico de Boulila (2017) foi atualizado e estendido por Boulila (2019) na Siemens AG. Entretanto, ao final do relatório é possível observar que o documento parece estar incompleto ou informações foram omitidas em relação a sua escrita por Boulila (2019).

Acredita-se que, em âmbito de projetos industriais, a Siemens AG ou qualquer outra empresa tem todo o direito de não divulgar ou omitir dados que sejam confidenciais ou que possam prejudicar diretamente ou indiretamente a empresa. É importante destacar a relevância do relatório técnico de Boulila (2019) por apresentar algumas características próximas as diretrizes propostas no artefato Diretrizes que está contido no processo ProVarMod4CPS.

Ainda em Boulila (2019) a arquitetura de três camadas é organizada por meio de blocos em um diagrama UML de estrutura composta, sendo que o primeiro bloco engloba qualquer SCF, um segundo bloco modela Sistemas de Transportes Ciber-Físicos (*Cyber-Physical Transport Systems*) e um terceiro bloco está relacionado com

Software de Planejamento de Produção (*Production Planning Software (PPSW)*) / Sistemas de Execução de Manufatura (*Manufacturing Execution Systems (MES)*).

Neste contexto, Boulila (2019) faz a estruturação de SPCF perante a indústria 4.0 com pilares referente as propriedades, estruturas, comunicações e comportamentos para SPCF. Contudo, esses pilares estão pouco detalhados e em alto nível, bem como estão incompletos em tal relatório técnico. As características de SPCF estão interrelacionadas nesses pilares e emergem em alto nível, mas são pouco detalhadas para sua adoção ou adaptação em qualquer tipo de SCF. Dentre alguns exemplos de características, destacadas por Boulila (2017) e Boulila (2019) como diretrizes, estão: *Human in the Loop*, Redes de Comunicação, Dependabilidade, Interoperabilidade, Heterogeneidade e Segurança. Além disso, não há um processo bem definido para utilizar essas características como diretrizes no desenvolvimento de SPCF, apenas são apresentadas definições diretas das características para possíveis domínios de aplicação internos e que podem ser abrangidos pela Siemens AG.

O relatório técnico de Boulila (2019) foi criado internamente na Siemens AG para SPCF específicos desenvolvidos pela organização. No entanto, o relatório apresenta uma arquitetura e diretrizes de alto nível e incompletas, não favorecendo sua adoção teórica ou prática. O ProVarMod4CPS não fornece uma arquitetura de três camadas para modelagem com diagrama UML de estrutura composta, mas fornece um processo BPMN com atividades e tarefas apoiadas por artefatos e papéis bem definidos para guiar a modelagem de variabilidades em SCF. O artefato Diretrizes contido no processo ProVarMod4CPS contribui com seu conjunto de características especificadas como diretrizes detalhadas para SCF. As diretrizes são representadas por meio de um *feature model* que auxilia na modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais em SCF. Diferentemente de Boulila (2019), o artefato Diretrizes do ProVarMod4CPS possui diretrizes detalhadas referente a modelagem de características distintas de SCF como: Comunicação, Interoperabilidade, Heterogeneidade, Segurança, dentre outras.

Embora o nível de detalhamento das características especificadas por Boulila (2019) e no ProVarMod4CPS ser diferente, Boulila (2019) criou seu relatório técnico baseado em um cenário real e prático dentro de uma indústria conceituada, chamada Siemens AG. As características contidas no *feature model* do ProVarMod4CPS são

classificadas de forma teórica com base na literatura de SCF e são avaliadas por especialistas (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7).

Na sequência, os trabalhos do projeto *Zen-Configurator* são comparados com o ProVarMod4CPS. A Figura 21 apresenta o projeto, sete trabalhos relacionados e o local do projeto.



**Figura 21. Projeto *Zen-Configurator*.**

No projeto de pesquisa *Zen-Configurator* várias tecnologias e ferramentas foram desenvolvidas para configurar SCF. Sete trabalhos de tal projeto foram conduzidos por pesquisadores do mesmo grupo de pesquisa no laboratório Simula<sup>25</sup> na Noruega. Dentre os trabalhos, Yue *et al.* (2015) apresentam uma avaliação e atualização da metodologia de modelagem SimPL, proposta para *Integrated Control Systems* (ICS) (BEHJATI *et al.*, 2012). SimPL é aplicada na modelagem de LPS em SCF (adaptado de ICS) durante a análise de domínio por meio da UML, um perfil, estereótipos, restrições e diretrizes. Em 2016, Safdar *et al.* (2016) conduziu uma avaliação para comparar Técnicas de Modelagem de Variabilidades (*Variability Modeling Techniques* (VMTs)) para SCF. Em adição, o estudo de Lu *et al.* (2016) apresenta regras para verificar conformidade para SCF, apoiado pelo estudo de Nie *et al.* (2013), que especifica restrições para a modelagem de SCF. Em 2020, Safdar

<sup>25</sup> Simula Research Laboratory: <https://www.simula.no/>

*et al.* (2020) apresenta um *framework* para automatizar a configuração multi-estágio e multi-passo para SCF utilizando os domínios de aplicação *Subsea Production Systems* e de exploração de óleo e gás.

No estudo de Safdar *et al.* (2016) foram propostos tipos de pontos de variação e realizada a modelagem de requisitos em SCF. São utilizadas as VMTs a partir de um modelo conceitual em SCF. Safdar *et al.* (2016) utilizam quatro técnicas de VMTs: Modelagem de Características, *Cardinality-Based Feature Modelling* (CBFM), *Common Variability Language* (CVL), e SimPL (BEHJATI *et al.*, 2012) com base na UML. Um estudo foi conduzido por Safdar *et al.* (2016) com a utilização das VMTs aplicadas no contexto de Veículos Automáticos Guiados (*Automatic Guided Vehicle* (AGV)) por meio da *LPS Handling Systems*. A SimPL e a CVL capturaram todos os pontos de variação. As técnicas FM e CBFM identificaram poucos pontos de variação e requisitos. Portanto, Safdar *et al.* (2016) fazem menção de que é necessário estender ou propor novas abordagens para minimizar problemas de detecção e captura de pontos de variação e requisitos.

O estudo de Lu *et al.* (2016) apresenta uma abordagem de verificação de conformidade chamada Zen-CC no contexto do projeto *Zen-Configurator*. A ferramenta foi desenvolvida como parte de uma metodologia de modelagem de variabilidades baseada em UML chamada SimPL (BEHJATI *et al.*, 2012), utilizada em ICS. A verificação de conformidade é apoiada por uma proposta que permita gerenciar restrições em SCF. A proposta de Nie *et al.* (2013) é útil nesse contexto por garantir a qualidade de produtos mais restritivos e seguros em SCF.

O ProVarMod4CPS difere em vários aspectos dos trabalhos desenvolvidos no projeto *Zen-Configurator* (Laboratório Simula - Noruega). O ProVarMod4CPS possui sete pontos principais e diferentes em relação aos trabalhos de Yue *et al.* (2015) (SimPL) e Safdar *et al.* (2020): (i) contém diretrizes originais para guiar a modelagem de variabilidades de SCF; (ii) a modelagem de variabilidades em SCF ocorre em tempo de projeto com características; (iii) o ProVarMod4CPS não foi adaptada de outro contexto de aplicação como a SimPL, adaptada para ICS; (iv) as principais características em SCF são identificadas e classificadas a partir da literatura; (v) não é baseado na UML; (vi) não possui um perfil e estereótipos, mas um mecanismo para GV poderá ser desenvolvido; e (vii) fornece um processo de instanciação guiada baseado em BPMN, apoiado por artefatos como um *feature model* e um conjunto de diretrizes para a modelagem de variabilidades (VTs e VOs) em tempo de projeto em

SCF. Em comparação com o estudo anterior de Safdar *et al.* (2016), o ProVarMod4CPS adota como representação um *feature model*, que não foi avaliado empiricamente em um experimento com uma LPS da indústria.

Em relação ao trabalho de Lu *et al.* (2016), o ProVarMod4CPS não tem um mecanismo para verificar regras de conformidade, mas restrições especificadas poderão substituir tal mecanismo. Neste sentido, em comparação com o trabalho de Nie *et al.* (2013), o ProVarMod4CPS possui restrições explícitas e especificadas em detalhes em seu *feature model* ou em suas diretrizes (*guidelines*). O ProVarMod4CPS também suporta os relacionamentos da atividade de GV para delimitar a seleção de características. Assim, pretende-se estender e avaliar em trabalhos futuros um conjunto de restrições nos relacionamentos entre as características e em suas diretrizes. Esse recurso pode ajudar a restringir novas modelagens futuras em SCF. O ProVarMod4CPS também não possui algoritmos e ferramentas se comparado a Zen-CC, bem como não foi avaliado em estudos na indústria.

Ademais, diferentemente do estudo de Yue *et al.* (2016), o ProVarMod4CPS não utiliza a engenharia de software baseada em busca e algoritmos multiobjetivo para otimizar a modelagem e/ou GV em SCF. Porém, uma ferramenta de apoio poderá ser desenvolvida para automatizar características contidas nas diretrizes do ProVarMod4CPS, por meio de algoritmos de Redes Neurais Profundas (*Deep Neural Networks*). A provocação em aplicar conceitos de LPS e a atividade de GV em Redes Neurais Profundas é instigada no estudo de Ghofrani *et al.* (2019).

Nos próximos parágrafos são descritos dois trabalhos relacionados sobre características de segurança em SCF, os quais são comparados com o ProVarMod4CPS. A Figura 22 ilustra dois projetos de pesquisa, tais trabalhos relacionados e o local onde foram conduzidos.



**Figura 22. Projetos AETHER-US e AETHER-UCLM.**

Em um primeiro estudo de Varela-Vaca *et al.* (2019), o *framework Cybersecurity Software Product Line* (CyberSPL) é proposto com o objetivo principal de verificar possíveis configurações em políticas de ciber-segurança por meio da aplicação dos conceitos de variabilidades contidos na engenharia de LPS. As configurações em relação as políticas de ciber-segurança são padronizadas e representadas em modelos de características. Esses modelos são disponibilizados em um catálogo e podem ser utilizados em conjunto com ferramentas web automatizadas de diagnóstico e detecção de falhas em configurações das políticas de ciber-segurança. Esse trabalho de Varela-Vaca *et al.* (2019) evoluiu para um segundo estudo de Varela-Vaca *et al.* (2021).

Um *framework* chamado CARMEN é desenvolvido por Varela-Vaca *et al.* (2021) para verificar e diagnosticar requisitos de segurança para SCF. Os requisitos são representados em um modelo com características (FODA) de segurança que seguem as recomendações e diretrizes de segurança estabelecidas pelos órgãos ENISA e OWASP. Um meta-modelo foi especificado para auxiliar na representação e verificação do modelo com características de segurança para SCF. O CARMEN *framework* não é automatizado, mas foi utilizado em tempo de projeto e avaliado no domínio da agricultura em um SCF de cultivo hidropônico.

Na fase de projeto (*design-phase*), o *framework* CARMEN é utilizado para auxiliar em todo o ciclo de vida dos requisitos de segurança de SCF por meio de quatro passos: (i) definir os requisitos de segurança do SCF utilizando o seu meta-modelo com suporte das recomendações de segurança da ENISA e diretrizes OWASP; (ii) atualizar o *feature model* com requisitos de segurança corretos para aplicações de SCF; (iii) garantir o mapeamento de requisitos de segurança em modelos de características; e (iv) verificar e diagnosticar a configuração correta em relação aos requisitos de segurança essenciais. Neste sentido, Varela-Vaca *et al.* (2021) apresenta uma gramática comum, especificada para descrever tais requisitos de segurança para SCF.

Em contraste com o CARMEN *framework* de Varela-Vaca *et al.* (2021), o processo ProVarMod4CPS não faz, especificamente, a verificação e o diagnóstico de características de segurança em SCF, mas contém variabilidades técnicas e organizacionais que também auxiliam a identificar alguns problemas de segurança de alto-nível. O ProVarMod4CPS tem as suas próprias diretrizes e recomendações descritas em um artefato que faz parte de seu processo e não possui adaptações realizadas perante as recomendações ENISA e/ou diretrizes OWASP. No entanto, o ProVarMod4CPS pode ser estendido no futuro com base no estudo de Varela-Vaca *et al.* (2021) com a finalidade de englobar diretrizes mais específicas de segurança. Novas adaptações nos artefatos de *feature model* e diretrizes (guidelines) do ProVarMod4CPS são necessárias para permitir sua avaliação no contexto da área de segurança.

O CARMEN *framework* e o processo ProVarMod4CPS não foram automatizados, são utilizados apenas em tempo de projeto e no domínio da agricultura. O ProVarMod4CPS foi avaliado no domínio de cidades inteligentes e da agricultura arável e não em um cultivo hidropônico conforme o realizado no estudo de Varela-Vaca *et al.* (2021). Durante as avaliações, ambas as propostas se beneficiam de etapas sistemáticas para sua correta execução e evolução de SCF. O CARMEN contém quatro passos bem definidos para guiar a verificação e diagnóstico de requisitos de segurança e o ProVarMod4CPS tem um conjunto de atividades, tarefas e papéis bem definidos(os) para garantir a modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais de SCF.

Os próximos estudos são classificados como trabalhos relacionados indiretamente com o ProVarMod4CPS. São considerados trabalhos indiretos os

estudos que podem contribuir com a evolução futura do ProVarMod4CPS, mas não estão próximos para fins de comparação com os aspectos fundamentais do ProVarMod4CPS e seus artefatos associados.

Esses trabalhos indiretos são descritos após a Tabela 2 e comparados brevemente com o ProVarMod4CPS.

Tabela 2. Trabalhos Relacionados indiretamente com o ProVarMod4CPS.

Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação			Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design- Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico	Qualquer domínio			
ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organiza- cionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomen- dações para modela- gem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
NIST framework   Griffor <i>et al.</i> (2017)	-	✓	✓ (Aspectos e Facetas)	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-
Abordagem para implantação (deployment) de aplicações IoT ou SCF   Cañete <i>et al.</i> (2022)	-	✓ (Abordagem)	-	-	✓ (Modelos de Características para Hardware e Software (Multi-Layer Feature Models))	-	-	✓	Computação em borda para aplicações IoT/SCF (Edge-based infrastructure)	-	-	Satisfiability Modulo Theories (SMT) Solver	-
Abordagem para gerenciar o comportamento em SCF auto adaptativos (Self- Adaptive Cyber- Physical System)   Islam e Azim (2018)	-	✓ (Workflow)	-	-	✓	-	-	✓	SCF Automotivo e Sistema de Monitoramento de Tráfego	-	-	-	Environmental Feature Model (EFM) e Environmental Feature Model Failure Tree (EFMFT)
LPS e SCF para ERTMS/ETCS   Beek <i>et al.</i> (2018)	-	-	-	-	✓	-	✓	-	European Rail Traffic Management System (ERTMS)/ European Train Control System (ETCS)	-	-	-	Clafer - Linguagem de Modelagem de Propósito Geral

Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação		Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens	
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design- Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico				Qualquer domínio
ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organiza- cionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomen- dações para modela- gem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
Multi-perspective Process Variability/Modelo Conceitual   Murguzur <i>et al.</i> (2013)	-	✓	-	-	-	-	✓	-	Edifícios Ecológicos Inteligentes ( <i>Smart Green Buildings</i> (SGB))	-	-	-	LateVa toolkit
Abordagem de classificação de variabilidades físicas   Li <i>et al.</i> (2016)	-	-	-	-	-	✓ (Meta- modelo)	✓	-	Sistemas de Aeronaves ( <i>Aircraft Systems</i> )	-	✓	-	SysML Block Definition Diagrams e Internal Diagram
SOFA NG/Modelo de Componente DEECo   Bures <i>et al.</i> (2014)	-	-	-	-	-	✓ (Compon- ente)	-	✓	SCF Inteligente / Cidades Inteligentes ( <i>Smart Cities</i> )	-	-	✓	Desenvolviment o Baseado em Componentes ( <i>Component- Based Development</i> (CBD))
Diretrizes para pequenas e médias empresas que desenvolvem SCF   Fritz <i>et al.</i> (2019)	-	-	✓ (Principais Requisitos de SCF em pequenas e médias empresas)	-	-	-	✓	-	Pequenas e médias empresas que desenvolvem SCF	-	-	-	-

Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação		Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens	
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design-Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico				Qualquer domínio
ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organizacionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomendações para modelagem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
Multi-View Variability Model (MVVM)   Nešić e Nyberg (2016)	-	✓	-	-	✓	-	✓	-	Fuel Level Display (FLD) - Scania CV AB	-	✓	-	Constraint Satisfiability Problem (CSP); FODA; UML; Orthogonal Variability Model (OVM)
Abordagem para gerenciamento de variantes sensíveis ao contexto   Smirnov et al. (2018)	-	✓	-	-	✓	-	✓	✓	Sistemas Ciber-Físicos Industriais (SCFI) (Industrial Cyber-Physical Systems)/Robótica	-	-	-	Ontologia; equipamento FESTO; dispositivo P41CPX-FEC; easyIP; Modbus
PRAISE - Product-Line Realization and Assessment in Industrial Settings   Hein et al. (2000)	-	-	-	-	✓	✓ (Meta-modelo)	✓	-	Sistemas de Supervisão de Periféricos para Automóveis (Car Periphery Supervision Systems); Controle de Cruzeiro Adaptativo (Adaptive Cruise Control (ACC))	-	✓	-	Linguagem de Restrição de Objetos (Object Constraint Language (OCL)); FODA.

Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação		Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens	
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design-Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico				Qualquer domínio
ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organizacionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomendações para modelagem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
Esquema de classificação preliminar   Bennaceur et al. (2019)	-	-	-	-	✓	-	✓	-	Saúde, Transporte e Segurança Alimentar	✓	-	-	FODA
Processo de Monitoramento   Iglesias et al. (2017)	-	✓	-	-	-	✓ (Classe)	✓	✓	Sistemas Ciber-Físicos Industriais (SCFI) (Industrial Cyber-Physical Systems) - Automated Warehouses e Press Machines	-	-	-	Linha de Produto de Software Dinâmica (Dynamic Software Product-Line (DSPL))
Mecanismo sensível ao contexto de serviços   Smirnov et al. (2015)	-	✓	-	-	✓	-	-	✓	Transportation Industrial Case; e Mobile Robot Interaction.	-	✓ (Mecanismo de variação de contexto)	-	FODA; Lego Mindstorms; Máquina de estados.
SmartCo   Romero et al. (2015)	-	-	-	-	✓	-	-	✓	Casas Inteligentes (Smart Homes)	✓	✓ (Mecanismo de regras - eventos-condições-ações (event-condition-action))	-	Linha de Produto de Software Dinâmica (Dynamic Software Product-Line (DSPL))

Abordagens   Autores	Estratégia de Adoção	Artefatos		Tipo de Representação		Tempo de Resolução		Tipo de SCF / Domínio ou Ambiente Inteligente (Smart Environment)		Mecanismo de GV (Pontos de Variação)	Ferramentas/ Algoritmos	Tecnologias utilizadas para desenvolver as abordagens
		Abordagem/ Framework/ Workflow/ Processo	Diretrizes	Checklist/ Modelo de Decisão	Feature Model	Diagramas UML	Tempo de Projeto (Design-Time)	Tempo de Execução (Runtime)	Domínio específico			
ProVarMod4CPS: Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems / Autor desta pesquisa	Proativa	✓ (Processo BPMN)	✓ (Técnicas e Organizacionais para SCF)	✓ (Checklist com questões assertivas (sim/não) com recomendações para modelagem de SCF)	✓ (Principais características para SCF)	-	✓	-	Agricultura Arável e Cidades Inteligentes (CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7)	✓	-	BPMN, FODA, FeatureIDE (EclipseIDE plugin) e XML schema.
HADAS4CPS - Developer Eco-Assistant   Munoz <i>et al.</i> (2018)	-	✓	-	-	✓	-	-	✓	Energy-awareness of cyber-physical systems developers/Green IT	-	✓	Microserviços; Arduino Shield; Powertutor; WattsUp?Pro; MAGEEC; JetBrains IDEs (IntelliJ IDEA e Android Studio); CSV; Repositório
O estudo apresenta a P&D em Aplicações Ciber-Físicas Móveis   White <i>et al.</i> (2010)	-	-	-	-	✓	-	-	✓	Aplicações Ciber-Físicas Móveis (Mobile Cyber-Physical Applications)	-	-	-

É importante destacar a proximidade do ProVarMod4CPS com o *framework* desenvolvido pelo NIST (GRIFFOR *et al.*, 2017). O *framework* contém um tipo de classificação diferente do ProVarMod4CPS e abrange os principais aspectos e facetas em SCF, mas não especifica características em direção às diretrizes e não engloba a engenharia de LPS.

O estudo de Cañete *et al.* (2022) apresenta uma abordagem que utiliza modelos de características multicamadas para identificar variabilidades de aplicações IoT no contexto de ambientes de computação de borda abrangendo em partes aplicações SCF. Uma das contribuições principais da abordagem de Cañete *et al.* (2022) é aplicar modelos de características no contexto da engenharia de LPS para tentar garantir a evolução das aplicações independentemente da infraestrutura.

Na abordagem de Cañete *et al.* (2022) os modelos de características são divididos em duas camadas chamadas de Hardware e Software, bem como utilizam relações de cardinalidade e atributos numéricos para propiciar sua extensão e reutilização. As características das camadas (Hardware e Software) são representadas como variabilidades e são selecionadas em tempo de execução com suporte de um SMT solver para otimizar a solução. A seleção das variabilidades ocorre durante o processo de implantação (*deployment*) de aplicações de IoT em infraestruturas de borda e de nuvem.

Quatro módulos da abordagem de Cañete *et al.* (2022) permitem a modelagem de variabilidades de nós heterogêneos e de diferentes dispositivos de hardware e funcionalidades de software no contexto de aplicações de IoT em infraestruturas de borda. O primeiro módulo *Application Variability Adaptor* (AVA), adapta a variabilidade com base na infraestrutura; o segundo módulo *New Devices Finder* (NDF), inclui novos dispositivos; o terceiro módulo *Edge-Deployment Alternatives Finder* (EDAF), procura por alternativas de implantação; e o quarto módulo *Energy Consumption and Latency Minimizer* (ECLAM), otimiza a latência e o consumo de energia durante as implantações. Tais módulos foram avaliados em uma prova de conceito em um sistema inteligente com vários sensores, câmeras, microfones, computadores de borda e IoT gateways em um campus de uma universidade chamado *Smart Campus*.

O processo ProVarMod4CPS difere, principalmente, da abordagem de Cañete *et al.* (2022) por possuir um artefato representado como um *feature model* com vários tipos de variabilidades técnicas e organizacionais para SCF. Esses tipos de variabilidades incluem características no nível de hardware e software para a

modelagem de SCF em tempo de projeto e não em tempo de execução (*runtime - SMT solver*).

As variabilidades técnicas e organizacionais representadas no *feature model* do ProVarMod4CPS são apoiadas por mais dois artefatos que incluem um conjunto de diretrizes e um *checklist* para guiar a modelagem de SCF em qualquer domínio. O ProVarMod4CPS também tem um conjunto de atividades, tarefas, papéis, artefatos e um subprocesso que auxiliam a guiar os passos para modelagem consistente de variabilidades de SCF. Entretanto, o ProVarMod4CPS não possui módulos automatizados como na abordagem de Cañete et al. (2022). Em relação ao domínio de aplicação, o ProVarMod4CPS não abrange a modelagem ou seleção de variabilidades no contexto de implantações de aplicações IoT ou SCF em infraestruturas de borda, foco da abordagem de Cañete et al. (2022). Ambas as propostas possuem diferentes restrições em seus modelos de características.

A abordagem proposta no estudo de Islam e Azim (2018) possui o objetivo geral e cenário diferentes do ProVarMod4CPS. Enquanto a abordagem de Islam e Azim (2018) está em direção a solução do domínio em tempo de execução, o ProVarMod4CPS contém diretrizes e uma classificação de características para modelar variabilidades em SCF no domínio do problema. Esta abordagem não fornece diretrizes e uma classificação de características em SCF para tempo de execução ou tempo de projeto. Em ambos os casos, a modelagem de características pode ser semanticamente limitada por causa da sua representação estrutural em formato de árvore.

De acordo com Beek et al. (2018), poucos estudos investigam a engenharia de LPS em SCF no domínio de *European Railway Traffic Management System* (ERTMS). A ideia do ProVarMod4CPS é facilitar a modelagem de variabilidades em SCF de qualquer domínio. Por exemplo, o *feature model* e as diretrizes (*guidelines*) do ProVarMod4CPS podem auxiliar na análise de domínio em tempo de projeto e na modelagem de variabilidades em sistemas ERTMS/ETCS conforme Beek et al. (2018).

O ProVarMod4CPS é um processo avaliado por especialistas de LPS. O ProVarMod4CPS não possui um processo multiperspectiva para representar variabilidades, como proposto por Murguzur et al. (2013). Porém, visões multiperspectivas poderão ser modeladas no ProVarMod4CPS, durante sua evolução em trabalhos futuros. A principal diferença existente entre a proposta de Murguzur et

*al.* (2013) e o ProVarMod4CPS está relacionada aos tipos de características representadas. No ProVarMod4CPS são consideradas características principais em SCF como VTs e VOs, enquanto no estudo de Murguzur *et al.* (2013) são representadas características sobre os tipos de pessoas, dados e coisas.

Em comparação com o ProVarMod4CPS, o estudo de Li *et al.* (2016) propõe uma classificação de tipos de variabilidades físicas para o domínio de sistemas de aeronaves. O ProVarMod4CPS propõe uma classificação de características principais para modelagem de variabilidades em SCF no domínio da agricultura, cidades inteligentes ou pode ser adaptada para qualquer domínio. O ProVarMod4CPS não possui um meta-modelo em tempo de projeto, mas um processo que contém um *feature model* e diretrizes (*guidelines*) para modelagem de variabilidades em SCF. O ProVarMod4CPS pode evoluir em uma nova versão adotando os tipos de variabilidades físicas propostas em Li *et al.* (2016): variabilidade de componente, variabilidade do número da instância, variabilidade do conector, arquitetura da variabilidade, localização da variabilidade, variabilidade de contexto, e variabilidade evolutiva.

Em comparação com a abordagem de Bures *et al.* (2014), o ProVarMod4CPS não é baseado em componentes. O ProVarMod4CPS é baseado em *feature model* com resolução em tempo de projeto. Uma limitação da abordagem de Bures *et al.* (2014) é considerar apenas o domínio de cidades inteligentes. O ProVarMod4CPS considera a modelagem de características principais de SCF para qualquer domínio de aplicação. Entretanto, o estudo de Bures *et al.* (2014) pode contribuir com o ProVarMod4CPS fornecendo um corpo de conhecimento inicial e específico sobre o domínio de cidades inteligentes.

O estudo de Fritz *et al.* (2019) apresenta um guia no formato de diretriz para ajudar no processo da engenharia de requisitos no contexto de pequenas e médias empresas que desenvolvem SCF. Treze requisitos essenciais de SCF foram identificados na literatura e um *template* para o processo de engenharia de requisitos foi criado e avaliado teoricamente. O ProVarMod4CPS difere da proposta de Fritz *et al.* (2019) porque utiliza a engenharia de LPS e um *feature model* para classificar as suas diretrizes no contexto de SCF para qualquer domínio.

O ProVarMod4CPS difere da abordagem MVVM (NEŠIĆ e NYBERG, 2016) por não possuir múltiplas visualizações para otimizar o GV. Em Nešić e Nyberg (2016) as visualizações de arquitetura (produção e desenvolvimento), requisitos e

características de produtos podem facilitar a modelagem de variabilidades em SCF. Entretanto, é necessária uma adaptação para o contexto de SCF. A adaptação poderá ser explorada como uma possível extensão para o ProVarMod4CPS.

Smirnov *et al.* (2018) apresentam uma abordagem para gerenciamento de variantes contextuais considerando a organização (*self-organization*) e contextualização (*self-contextualization*) automática em SCF. A abordagem aplica conceitos de ontologia por causa da complexidade e das características semânticas em SCF. O objetivo da abordagem é representar informações e o conhecimento em relação a variantes de contexto. O escopo do ProVarMod4CPS não engloba variantes contextuais automatizadas e não aplica conceitos de ontologia para representar variantes. As características contextuais em SCF poderão ser investigadas em trabalhos futuros e adaptadas no *feature model*, bem como especificadas nas diretrizes do ProVarMod4CPS.

O estudo de Hein *et al.* (2000) utiliza a mesma tecnologia de representação (FODA) do ProVarMod4CPS. Devido sua flexibilidade e ampla adoção na literatura de SCF, tal tecnologia foi escolhida para a representação de um modelo de características do ProVarMod4CPS com diretrizes para qualquer domínio em SCF. O ProVarMod4CPS ainda não possui uma ferramenta automatizada para propiciar sua utilização prática na indústria.

O estudo de Bennaceur *et al.* (2019) propõe um esquema de classificação preliminar sintetizado para caracterizar SCF utilizando domínios da Saúde, Transporte e Segurança alimentar. No entanto, há ausência de mais pesquisas para a modelagem de variabilidades organizacionais e técnicas em SCF em tempo de projeto e para diferentes domínios (agricultura, saúde ou cidades inteligentes).

O ProVarMod4CPS permite realizar uma análise de domínio em tempo de projeto para SCF em geral. A proposta de Iglesias *et al.* (2017) é limitada a análise de domínio em SCFI. As experiências obtidas no estudo de Iglesias *et al.* (2017) poderão ajudar na especificação de uma nova versão especial do ProVarMod4CPS apenas para o domínio de SCFI.

Em comparação com a abordagem de Smirnov *et al.* (2015) o tempo de resolução do ProVarMod4CPS permite a modelagem de variabilidades em SCF em tempo de projeto. O ProVarMod4CPS não permite automatização de variabilidades contextuais em tempo de execução e não possui um modelo de referência para facilitar sua adoção. As diretrizes do ProVarMod4CPS poderão ser estendidas e

representadas em um modelo e/ou arquitetura de referência em trabalhos futuros com o objetivo de estender seu modelo conceitual preliminar.

O estudo de Romero *et al.* (2015) contém um mecanismo de regras avaliado em tempo de execução em um contexto específico de casas inteligentes. Um mecanismo de regras ou de restrições poderá ser especificado na proposta de diretrizes do ProVarMod4CPS, mas em tempo de projeto, para auxiliar na análise, modelagem e compreensão de diferentes domínios. Em relação à privacidade e à segurança, o ProVarMod4CPS possui diretrizes que, provavelmente, deverão ser melhoradas com a condução de estudos empíricos.

No estudo de Munoz *et al.* (2018) o repositório HADAS4CPS foi proposto com o objetivo de medir o consumo de energia em SCF por meio de um Assistente Ecológico de Desenvolvedores (*Developer Eco-Assistant*) para guiar desenvolvedores em análise sustentáveis. Os resultados iniciais indicam que HADAS4CPS reduz entre 40% e 90% o consumo de energia em diferentes dispositivos, sistemas operacionais e linguagens de programação em SCF. O ProVarMod4CPS contém diretrizes que consideram restrições de energia em SCF. O estudo de Munoz *et al.* (2018) é útil para compreender sobre o consumo de energia e estender as diretrizes de restrições de energia do ProVarMod4CPS. As diretrizes de energia estão em fase de melhoria contínua em novas versões do ProVarMod4CPS.

O domínio de aplicação do estudo de White *et al.* (2010) é voltado para aplicações ciber-físicas móveis e apresenta desafios que necessitam serem investigados. O ProVarMod4CPS pode mapear características principais em SCF e poderá abranger a compreensão do domínio de aplicações ciber-físicas móveis em trabalhos futuros.

### **3.2 Considerações sobre o capítulo**

Neste capítulo foram apresentados os trabalhos relacionados identificados em uma revisão sistemática entre SCF, LPS e GV, conduzida para verificar a existência de trabalhos relacionados entre essas áreas.

Com a análise dos trabalhos relacionados entre SCF e LPS, vários problemas na compreensão, modelagem e gerenciamento em SCF são evidenciados por abordagens diferentes em domínios distintos (força aérea, transportes, automotivo e ferroviário, industrial, sistemas móveis, entre outros).

Os estudos identificados na literatura contribuíram com o avanço em ambas as áreas. No entanto, ainda é necessário compreender a maioria das características em SCF em tempo de projeto para diferentes domínios. Isso possibilitará propor novos processos, técnicas ou *frameworks* para tentar resolver a problemática de modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais em SCF de maneira satisfatória. Nesse contexto desafiador, o ProVarMod4CPS foi comparado com os trabalhos relacionados para sua evolução ao longo do tempo.

Tendo em vista a melhoria contínua do ProVarMod4CPS, o próximo capítulo apresenta em detalhes a estruturação desta pesquisa com atividades baseadas na *Design Science Research* (DSR).

## **CAPÍTULO 4 - ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA**

Este capítulo apresenta as fases do percurso metodológico para realizar esta pesquisa. São apresentados os conceitos fundamentais em relação aos métodos de pesquisa selecionados para esta pesquisa. A estrutura desta pesquisa é descrita quanto a sua estratégia baseada em atividades da *Design Science Research* (DSR). A estratégia de pesquisa é apresentada em detalhes para estruturar o processo de trabalho e para atingir os objetivos definidos no CAPÍTULO 1 desta tese.

A estrutura e a estratégia desta pesquisa estão posicionadas no âmbito do projeto de pesquisa intitulado: Um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte do paradigma de linhas de produto de software. Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) sob Parecer Nº 4.893.941. As respostas dos participantes das avaliações são individuais e foram analisadas de forma completamente anônima. A proteção da identidade institucional foi assegurada. Os dados obtidos são utilizados unicamente para fins de pesquisa.

Os documentos relacionados ao projeto de pesquisa estão disponíveis nos Apêndices B e C: TCLE; TCUD; Convite de participação, enviado por e-mail aos participantes; Roteiro interativo com instruções de participação; e Questionários utilizados nas avaliações. Por causa da natureza desta pesquisa e para evitar a exposição ao COVID-19, todos os participantes assinaram digitalmente o TCLE e a equipe de pesquisa o TCUD.

O projeto de pesquisa pode ser consultado no site da Plataforma Brasil em: <https://plataformabrasil.saude.gov.br>.

### **4.1 Conceitos sobre métodos de pesquisa selecionados**

Na literatura há uma ampla variedade de métodos de pesquisa (FELDERER e TRAVASSOS, 2020). Esta seção apresenta definições dos métodos de pesquisa utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa. As atividades da DSR são detalhadas como a estratégia principal para condução desta pesquisa (Seção 4.3). Nas próximas seções são apresentados os conceitos sobre os métodos de pesquisa:

- **Atividades da DSR for Information Systems** (PEFFERS *et al.*, 2007) (Seção 4.1.1).
- **Estudos secundários (revisão sistemática)** (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007; KITCHENHAM *et al.*, 2005; PETERSEN *et al.*, 2015) e tipos de classificações de pesquisas exploratória e descritiva (SANTOS, 1999; GIL, 2006; MENOLLI, 2012) (Seção 4.1.2).
- **Fases que envolvem a sistematização de experimentos e estudos empíricos em engenharia de software** (JEDLITSCHKA *et al.*, 2008; JURISTO e MORENO, 2010; WOHLIN *et al.*, 2012), incluindo um método para definir o escopo, objetivo e questão de pesquisa, segundo Basili *et al.* (1994) (Seção 4.1.3).
- **Pesquisa e métodos de análise qualitativos** (PATTON, 2002; SALDAÑA, 2013) (Seção 4.1.4).
- **Modelo para avaliar a aceitação de tecnologia** (VENKATESH e BALA, 2008; MARANGUNIĆ e GRANIĆ, 2015) (Seção 4.1.5).
- **Métodos para avaliar o projeto e a modelagem de processos de software** (MENDLING *et al.*, 2010; REIJERS *et al.*, 2010) (Seção 4.1.6).

#### 4.1.1 Atividades da *Design Science Research (DSR) for Information Systems*

Dentre os métodos empíricos contemporâneos em engenharia de software (FELDERER e TRAVASSOS, 2020), a *DSR for Information Systems* abrange a investigação de um problema no ambiente acadêmico ou na indústria. Engloba o problema solucionado a partir do desenvolvimento e avaliação de artefatos adequados ao contexto (PEFFERS *et al.*, 2007). Esses artefatos podem ser processos, métodos, modelos, entre outros. A DSR permite compreender o problema para propor uma solução customizada com tais artefatos por meio de um processo sistemático e iterativo com seis atividades bem definidas (PEFFERS *et al.*, 2007):

- **Identificar o Problema & Motivação.** Define e descreve o problema de pesquisa para motivar a comunidade (pesquisadores ou profissionais) na compreensão da relevância do problema explorado.
- **Definir os Objetivos de uma Solução.** Define os objetivos com base na identificação e no conhecimento obtido sobre o problema com o intuito de desenvolver uma solução adequada ao contexto. Os objetivos

podem ser quantitativos ou qualitativos. Quantitativo, comparar as soluções para verificar seus pontos positivos e negativos. Qualitativo, como a nova solução (artefato) pode apoiar na resolução do problema investigado.

- **Projetar e Desenvolver.** Após a definição dos objetivos, esta atividade envolve o projeto e desenvolvimento da arquitetura e funcionalidades do artefato (solução). Um artefato pode ser um processo, método, construto, dentre outros.
- **Demonstrar.** *“Demonstra a utilização do artefato para resolver uma ou mais instâncias do problema. Pode envolver o uso da experimentação, simulação, estudos de caso, provas, ou outros...”* (PEFFERS et al., 2007).
- **Avaliar.** *“Observar e medir como o artefato suporta a solução para o problema. Envolve comparar os objetivos de uma solução com os resultados observados do uso do artefato na atividade de demonstração. Requer o conhecimento de métricas e técnicas de análise”* (PEFFERS et al., 2007).
- **Comunicar.** *“Comunicar o problema e sua importância, o artefato, sua utilidade e inovação, o rigor de seu projeto, e sua efetividade para pesquisadores e outras audiências relevantes tais como profissionais”* (PEFFERS et al., 2007). Por exemplo, divulgar a pesquisa conduzida por meio da publicação de diferentes artigos científicos sobre o tema explorado.

#### 4.1.2 Estudos secundários e tipos de classificações

O estudo de Kitchenham e Charters (2007) define um estudo secundário como um método de pesquisa para conduzir revisões sistemáticas da literatura por meio de um processo sistemático e rigoroso baseado em diretrizes, estruturado com três principais estágios: planejamento, condução e escrita do relatório da revisão. Os estudos secundários se referem as revisões sistemáticas da literatura conduzidas nesta pesquisa com o objetivo de explorar um fenômeno de interesse, tópico ou questão de pesquisa (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007).

Práticas baseadas em evidências são discutidas em Kitchenham *et al.* (2005) para conduzir revisões sistemáticas na engenharia de software. Essas práticas envolvem elaborar um relatório de revisões sistemáticas envolvendo fases como planejamento, busca por estudos, seleção de estudos, extração dos dados dos estudos, análise e síntese. Petersen *et al.* (2015) também apresentam fases próximas para conduzir estudos secundários, mas com o foco voltado na condução de mapeamentos sistemáticos. Acredita-se que todas as fases apresentadas podem ser adaptadas para a condução de novas pesquisas sistemáticas na literatura.

Uma revisão sistemática é uma das etapas contidas na pesquisa exploratória. Esse tipo de pesquisa envolve a apresentação, compreensão e delimitação do problema em relação ao tema de estudo em direção as suas hipóteses (GIL, 2006). Basicamente, a pesquisa exploratória envolve a elaboração do referencial teórico (revisão da literatura ou revisão sistemática) e entrevistas (estudo de caso) (SANTOS, 1999; GIL, 2006; MENOLLI, 2012).

Outro tipo de pesquisa classificado por Gil (2006) é a descritiva. Neste tipo de pesquisa é investigado um fenômeno de interesse considerando o estudo de suas características ou variáveis por meio da análise de dados coletados, normalmente, via questionários (SANTOS, 1999; GIL, 2006; MENOLLI, 2012).

#### **4.1.3 Fases de experimentos e estudos empíricos**

A experimentação em engenharia de software permite investigar um problema de pesquisa ou fenômeno de interesse por meio de hipóteses, bem como pode ser adaptado para responder questões de pesquisas em estudos qualitativos. Neste sentido, experimentos e estudos empíricos ajudam explorar tal problema e descrever de maneira sistemática os resultados obtidos a partir de tal exploração (JURISTO e MORENO, 2010; WOHLIN *et al.*, 2012).

Segundo Wohlin *et al.* (2012) o processo de experimentação não é tão fácil e simples de ser conduzido. Um conjunto de recomendações, diretrizes e um protocolo experimental foi proposto por Jedlitschka *et al.* (2008) e Wohlin *et al.* (2012) com o objetivo de guiar sistematicamente a condução de experimentos e estudos empíricos em engenharia de software. O protocolo experimental é adaptado no contexto das avaliações desta pesquisa (Seções 4.3.4 e 4.3.5). O protocolo contém as seguintes fases definidas por Wohlin *et al.* (2012):

- **Definição do escopo.** Segundo Wohlin *et al.* (2012) esta fase define “*por que o experimento é conduzido*”. Engloba a adoção de um *template* para definir o escopo, objetivo e questão de pesquisa em experimentos. A abordagem *Goal Question Metric* (GQM), proposta no estudo de Basili *et al.* (1994), é aplicada no contexto de experimentação por Wohlin *et al.* (2012). O *template* da GQM tem o seguinte formato: “**Analisar** (*objeto(s) do estudo*) **com o propósito de** (*proposta*) **em relação à** (*foco na qualidade*) **do ponto de vista de** (*perspectiva*) **no contexto de** (*contexto*)”.
- **Planejamento.** De acordo com Wohlin *et al.* (2012) esta fase estabelece “*como o experimento é conduzido*”. A partir da fase anterior de **Definição do Escopo** do experimento, esta fase define o projeto experimental que pode incluir a seleção do contexto, definição das hipóteses, das variáveis, a seleção dos participantes, a instrumentação e avaliação da validade do estudo.
- **Execução ou Operação.** Esta fase inclui a condução do experimento já planejado na fase anterior. Esta fase de execução inclui a coleta de dados de acordo com procedimentos de participação em relação aos indivíduos (pessoas ou especialistas), a descrição do nível de conhecimento dos participantes, a aplicação de um instrumento de coleta (questionário), no qual é aplicado para avaliar alguma tecnologia ou fenômeno investigado na área de engenharia de software. Os dados coletados dos participantes serão analisados de acordo com métodos qualitativos ou quantitativos na próxima fase de **Análise e Interpretação**.
- **Análise e Interpretação.** Após a fase de **operação** ou **execução** (coleta dos dados) do experimento, esta fase inclui a análise e interpretação dos dados ou resultados obtidos. Na fase de análise, métodos quantitativos são comumente selecionados e aplicados em um conjunto de dados coletados. Estes dados são analisados utilizando a estatística descritiva e testes de hipóteses (WOHLIN *et al.*, 2012). Entretanto, há um crescimento na aplicação de métodos qualitativos para analisar as respostas coletadas a partir de questionários aplicados aos participantes de um estudo empírico qualitativo. Nesse tipo de avaliação qualitativa

não há hipóteses, mas questões de pesquisa confrontadas com o fenômeno de interesse investigado na pesquisa (SALDAÑA, 2013).

- **Ameaças à validade.** Segundo Kitchenham *et al.* (2005) as ameaças à validade englobam quatro tipos que ocorrem em um experimento ou estudo empírico: *constructo*, interna, conclusão e externa. A validade de *constructo* engloba a capacidade de generalização do experimento ou estudo. A validade interna discute a capacidade para descrever as fases do experimento ou estudo. A validade de conclusão envolve a capacidade para discutir as conclusões acerca do experimento ou estudo. E, a validade externa envolve uma discussão sobre causas da pesquisa como, por exemplo, a capacidade do estudo em ser replicado (KITCHENHAM *et al.*, 2005). As ameaças à validade são importantes em quaisquer tipos de avaliações quantitativas ou qualitativas.

#### 4.1.4 Pesquisa e métodos de análise qualitativos

Segundo Patton (2002), a Pesquisa de Avaliação Qualitativa (*Qualitative Evaluation Research*) é “*uma abordagem que coleta e analisa dados programáticos e de participantes para avaliar mérito, valor, eficácia, qualidade, valor, dentre outros*”. Os dados coletados em uma pesquisa qualitativa, normalmente, são textos contidos em respostas coletadas de participantes por meio de algum instrumento de coleta (questionário). Esses dados em formato de texto podem ser selecionados como trechos de texto, agrupados e categorizados de forma padronizada por meio códigos (SALDAÑA, 2013).

Saldaña (2013) define um código como: “*uma palavra ou frase curta que atribui simbolicamente um atributo somativo, saliente, de captura de essência e/ou evocativo para uma porção de dados visuais ou baseados em linguagem*”. Um código também é: “*um construto gerado pelo pesquisador que simboliza e atribui significado interpretado a cada dado individual para propósitos posteriores de detecção de padrões, categorização, construção de teorias e outros processos analíticos*”.

Métodos de codificação são utilizados para guiar o processo de codificação. Dentre os métodos existentes, o Método Gramatical, o Método Exploratório e a Codificação In Vivo são recomendados(as) por Saldaña (2013) para avaliações qualitativas. As definições do Método Gramatical de Codificação Magnitude, Método

Exploratório de Codificação Provisória e da Codificação In Vivo são apresentadas na íntegra conforme (SALDAÑA, 2013):

“A Codificação Magnitude (*Magnitude Coding*) consiste em adicionar um código alfanumérico ou simbólico ou subcódigo para um dado ou categoria codificado existente para indicar sua intensidade, frequência, direção, presença ou conteúdo avaliativo. Os códigos de magnitude podem ser indicadores qualitativos, quantitativos e/ou nominais para melhorar a descrição.”

“A Codificação Provisória (*Provisional Coding*) começa com uma lista-inicial (*start-list*) de códigos gerados por pesquisadores com base no que a investigação preparatória sugere que possa aparecer nos dados antes de serem coletados e analisados. Códigos provisórios podem ser revisados, modificados, excluídos ou expandidos para incluir novos códigos.”

“A Codificação In Vivo utiliza palavras ou frases curtas do próprio idioma do participante no registro de dados como códigos...”. “Apropriado para praticamente todos os estudos qualitativos...”

#### 4.1.5 Método para avaliar a aceitação de tecnologia

Além dos métodos de codificação, outro método foi adotado para avaliar a viabilidade da solução desenvolvida nesta pesquisa (CAPÍTULO 6). O *Technology Acceptance Model* (TAM) é adotado para avaliar a aceitação de determinada tecnologia perante as dimensões: Facilidade de Uso, Utilidade e Intenção de Uso Futuro (VENKATESH e BALA, 2008; MARANGUNIĆ e GRANIĆ, 2015).

A Facilidade de Uso é definida em geral como “*um grau em que uma pessoa acredita que o uso de uma tecnologia de informação será livre de esforço*”. A Utilidade é “*definida como uma medida em que uma pessoa acredita que o uso de uma tecnologia de informação melhorará seu desempenho no trabalho*”. Por fim, a Intenção de Uso Futuro engloba a intenção comportamental e individual de diferentes pessoas em adotar ou utilizar uma determinada tecnologia (VENKATESH e BALA, 2008; MARANGUNIĆ e GRANIĆ, 2015).

#### 4.1.6 Métodos para avaliar o projeto e a modelagem de processos de software

O artefato principal (processo de modelagem) desta pesquisa foi avaliado por meio do conceito *Understandable-by-Design* apoiado pelas *Seven Process Modeling Guidelines* (7PMG) (MENDLING *et al.*, 2010; REIJERS *et al.*, 2010). O artefato desta pesquisa foi avaliado seguindo a qualidade pragmática contida no *Understandable-by-Design*, que tem o objetivo de garantir que o processo projetado possa ser compreendido por pessoas por meio de suas principais relações e elementos. Neste

contexto, as diretrizes da 7PMG foram aplicadas no formato de questões múltipla escolha em um questionário (Apêndice C.6) utilizado para avaliar tal processo no CAPÍTULO 7.

As 7PMG auxiliam no desenvolvimento de processos novos e na melhoria de processos existentes por meio de sete diretrizes estruturadas como recomendações de modelagem. As 7PMG são aplicadas principalmente no contexto de processos criados com *Business Process Modeling Language* (BPMN), como é o caso do artefato principal criado no escopo desta pesquisa (CAPÍTULO 5).

As sete diretrizes da 7PMG são recomendações definidas por Mendling *et al.* (2010) como (traduzidas na íntegra): (i) “*usar poucos elementos no modelo quanto possível*”; (ii) “*minimizar os caminhos das rotas por elemento*”; (iii) “*utilizar um evento de início e um evento de fim*”; (iv) “*modelar estruturado assim que possível*”; (v) “*evitar elementos de roteamento do tipo OR*”; (vi) “*utilizar rótulos (nomes) das atividades como verbo/objeto*”; e (vii) “*decompor um modelo com mais do que 50 elementos*”.

## 4.2 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa é classificada como **Exploratória e Descritiva**.

**Exploratória** em virtude da realização da etapa teórica de revisão da literatura, apoiada pela condução de dois estudos secundários entre SCF, IoT e LPS. **Descritiva** porque leva em consideração o seu teor empírico em relação à condução de estudos empíricos qualitativos.

Essas classificações estão contidas implicitamente em uma estratégia de pesquisa criada para a condução desta pesquisa seguindo as atividades da DSR. Por exemplo, a classificação **Exploratória** está inclusa na atividade de **Identificar o Problema & Motivação** desta pesquisa. A classificação **Descritiva** abrange a condução e análise dos estudos empíricos por meio das respectivas atividades de: **Demonstrar e Avaliar**.

A estratégia de pesquisa é detalhada na próxima seção.

## 4.3 Estratégia de pesquisa

Esta pesquisa é estruturada conforme as atividades da DSR *for Information Systems* de Peffers *et al.* (2007) e está dividida por meio de seis atividades principais agrupadas por seções: **4.3.1. Identificar o Problema e Motivação**; **4.3.2. Definir os**

**Objetivos de uma Solução; 4.3.3. Projetar e Desenvolver; 4.3.4. Demonstrar; 4.3.5. Avaliar; e 4.3.6. Comunicar.**

A DSR foi escolhida para conduzir esta pesquisa por fornecer um processo com atividades iterativas que permite organizar a exploração de um problema na literatura com uma **Abordagem Centrada no Problema** em direção a sua solução. Essa abordagem define uma sequência nominal que inicia o processo da DSR com a atividade de identificação do problema. Após isso, as atividades de **Projetar e Desenvolver, Demonstrar e Avaliar**, permitem criar e melhorar um e/ou vários artefatos (soluções) para resolver o problema explorado.

A Figura 23 ilustra a estratégia de pesquisa baseada na DSR para alcançar os objetivos definidos no CAPÍTULO 1. Cada atividade (em azul marinho) contém um conjunto de passos (pontilhados em cinza), ambas(os) detalhadas(os) nas próximas seções.

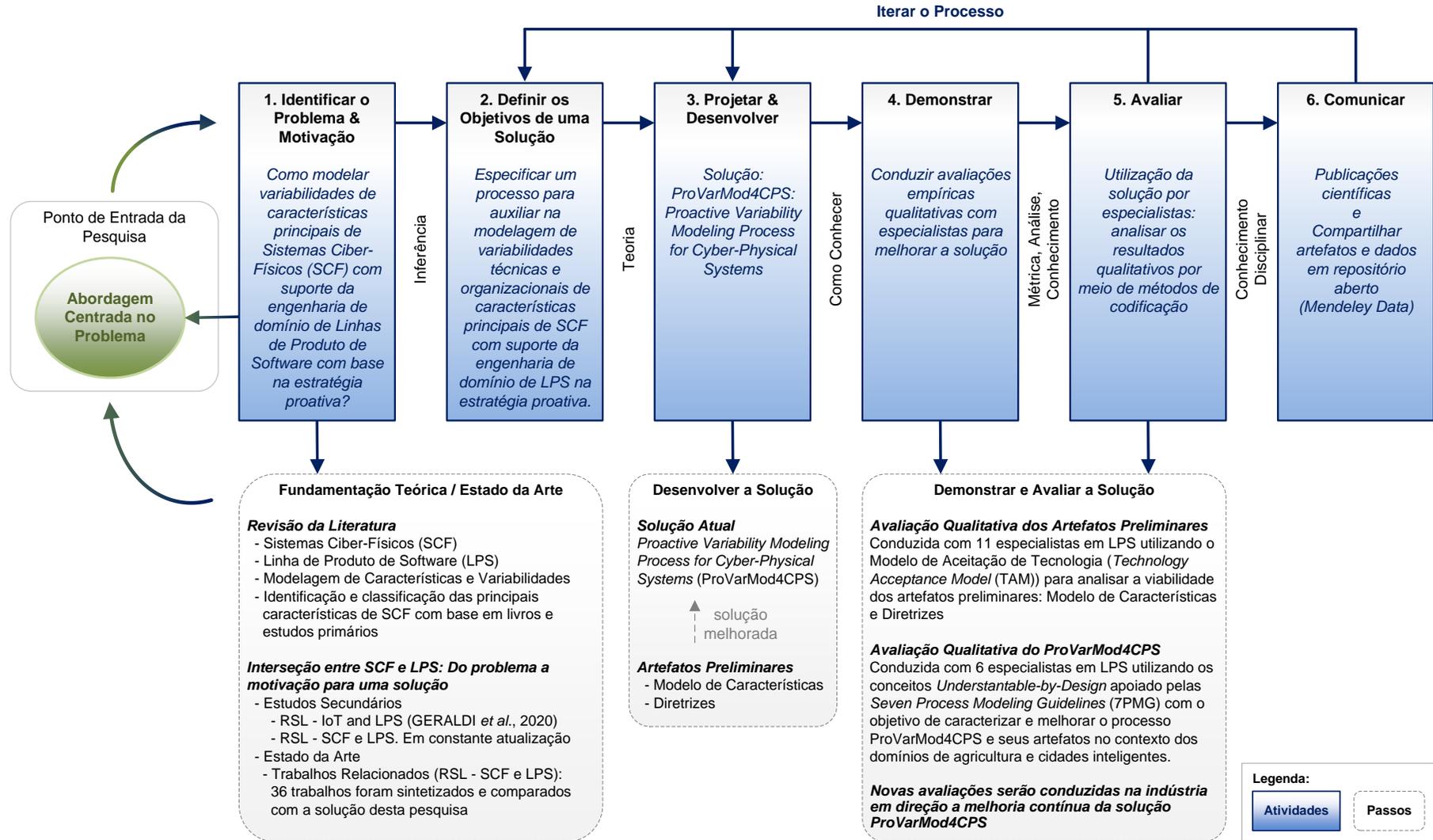


Figura 23. Estratégia de pesquisa. Adaptado de Peffers *et al.* (2007).

### 4.3.1 Identificar o Problema & Motivação

Esta primeira atividade na DSR envolve “a definição do problema que será utilizado para desenvolver um artefato que pode efetivamente fornecer a solução” (PEFFERS *et al.*, 2007). Uma revisão da literatura e dois estudos secundários foram realizados como os primeiros passos para delinear o problema e motivar o desenvolvimento desta pesquisa.

A Figura 24 ilustra a primeira atividade na DSR e as próximas seções apresentam os passos de tal atividade para motivar a evolução da solução contida nesta pesquisa (CAPÍTULO 5).

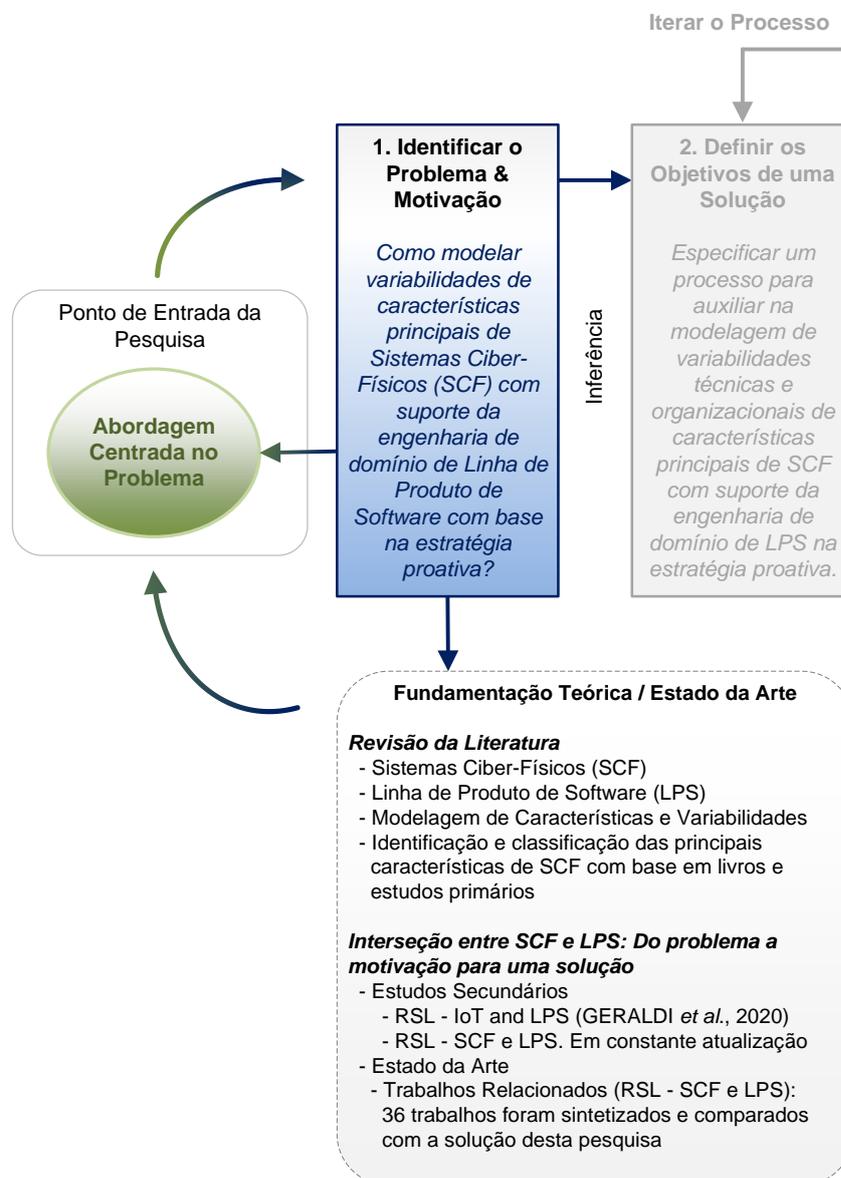


Figura 24. Primeira Atividade - 1. Identificar o Problema & Motivação.

#### 4.3.1.1 Revisão da literatura e estudos secundários

A revisão da literatura é um passo essencial para o posicionamento, desenvolvimento e continuidade desta pesquisa. O CAPÍTULO 2 contém os principais conceitos e definições essenciais acerca dos temas SCF, LPS, gerenciamento e modelagem de variabilidades.

Após a revisão, foram conduzidos dois estudos secundários para entender a intersecção entre SCF, IoT e LPS. O primeiro estudo é uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) entre LPS e IoT e, um segundo estudo, é uma RSL entre LPS e SCF. Após isso, foram identificadas e classificadas as principais características de SCF com base em livros e alguns estudos primários da revisão da literatura, bem como estudos primários da RSL entre LPS e SCF. Além da classificação das principais características de SCF, o **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta uma comparação detalhada da solução principal (ProVarMod4CPS - CAPÍTULO 5) desta pesquisa com 36 trabalhos relacionados selecionados da literatura a partir da RSL entre LPS e SCF.

A primeira RSL entre LPS e IoT foi conduzida para investigar, inicialmente, possíveis lacunas e dificuldades no gerenciamento de variabilidades em sistemas da IoT. A partir dos resultados obtidos nessa RSL, emergiu a necessidade de compreender se haveria dificuldades em lidar com a modelagem de variabilidades e de características em sistemas específicos próximos da IoT. Diante de tal cenário, entende-se que SCFs estão contidos no contexto de sistemas IoT e que é difícil lidar com a modelagem de variabilidades aplicando a engenharia de LPS em múltiplos sistemas da IoT. Portanto, a RSL de LPS e IoT tem relação direta com a pesquisa desta tese por possibilitar reflexões de que é necessário lidar com variações em um sistema IoT específico, no caso desta pesquisa, com SCFs. De acordo com Rabiser e Zoitl (2021) não há como lidar com várias disciplinas e vários tipos de sistemas, mesmo quando consideramos Sistemas-Intensivos de Software (*Software-Intensive Systems*). A modelagem deve ser direcionada porque o conhecimento em diferentes disciplinas é muito escasso e específico ao longo do tempo.

A primeira RSL entre LPS e IoT foi conduzida adotando o protocolo de Kitchenham e Charters (2007) por meio da criação de uma estratégia de pesquisa com métodos e processos definidos na literatura. Esta RSL foi publicada pelo autor desta pesquisa no periódico ELSEVIER *Journal of Information and Software Technology* em meados de Março/2020. A estratégia completa de pesquisa e todas

as discussões referente aos resultados obtidos são detalhadas em Geraldi *et al.* (2020). O artigo está disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106293>.

Em síntese, esta seção apresenta o objetivo desta RSL, as questões de pesquisa exploradas, as fontes ou mecanismos utilizados para busca de estudos primários, palavras-chaves definidas em *strings* de busca, os critérios de inclusão e exclusão de estudos, bem como os resultados gerais obtidos neste RSL.

**Objetivo.** Esta RSL teve como objetivo investigar como a engenharia de LPS tem sido aplicada no paradigma da IoT, bem como a atividade de GV é realizada.

**Questões de Pesquisa (QP).** Com base no objetivo desta RSL, três QPs foram respondidas por meio da identificação de lacunas em estudos primários:

- **QP1. Como LPS vêm sendo aplicadas no contexto de sistemas da IoT?** O objetivo desta QP1 foi identificar domínios de aplicação inteligentes, bem como os tipos de sistemas IoT e as LPSs que têm sido adaptados(as) e aplicados(as) no meio acadêmico e/ou industrial.
- **QP2. Como o GV de LPS é realizado em sistemas da IoT?** O objetivo desta QP2 foi investigar como GV é aplicado e adotado em sistemas ou dispositivos da IoT; e, se o GV tem sido identificado em diferentes processos, modelos, tipos de tempos de resolução, propostas de mecanismos e restrições.
- **QP3. Quais abordagens, *frameworks*, ou plataformas utilizam LPS em sistemas da IoT?** Esta QP3 tem o objetivo de identificar abordagens, *frameworks*, ou plataformas, as quais as LPSs têm sido aplicadas em IoT em relação às suas tecnologias para aplicação no meio acadêmico e/ou industrial.

**Fontes de busca, palavras-chave e *string* de busca.** Seis fontes de busca (bases digitais) foram selecionadas para pesquisar os estudos primários sendo ACM Digital Library, Compendex, IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus, e Springer Link. Após a escolha das bases, as palavras-chave foram especificadas em uma *string* de busca genérica, a qual foi adaptada para diferentes bases em que os estudos foram pesquisados. A seguinte *string* foi definida: (“*internet of things*” OR “*iot*”) AND (“*software product line*” OR “*SPL*” OR “*product family engineering*” OR “*pfe*” OR “*software product family*” OR “*families of systems*” OR “*variability management*”).

**Crítérios de Inclusão e Exclusão.** Os seguintes critérios foram definidos para apoiar a seleção dos estudos para cada uma das QPs:

**Critérios de Inclusão (CI):**

**CI1.** Estudos publicados até Março/2019;

**CI2.** Estudos secundários recuperados com revisões sistemáticas da literatura ou estudos de mapeamento que poderiam conter estudos primários relevantes para estas revisões sistemáticas;

**CI3.** Estudos que abordam os conceitos de engenharia de LPS e modelos para sistemas da IoT;

Foram definidos CI específicos para cada QP:

**CI4. QP1.** Verificar a existência e a aplicação ou adaptação de LPS em sistemas da IoT;

**CI5. QP2.** Analisar o GV realizado e discutido nos estudos primários;

**CI6. QP3.** Identificar quais abordagens, *frameworks*, e/ou plataformas são propostas(os) nos estudos primários em IoT.

**Critérios de Exclusão (CE):**

**CE1.** Estudos primários que não respondem as questões de pesquisa;

**CE2.** Estudos que não definem conceitos e/ou modelos em relação a engenharia de LPS, incluindo modelos de características (*feature model*), modelos UML, e/ou outros modelos;

**CE3.** Estudos que não englobam a engenharia de LPS aplicada em sistemas da IoT;

**CE4.** Estudos duplicados e/ou recuperados em mais de uma base digital de busca (ACM Digital Library, Compendex, IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus, Springer Link);

**CE5.** Estudos filosóficos;

**CE6.** Estudos reportados ou apresentados no formato de palestra (*keynote*);

**CE7.** Estudos em outras linguagens diferentes do Inglês;

**CE8.** Estudos indisponíveis no momento da busca (endereço ou site indisponível) nas bases digitais.

Durante e após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos, as ferramentas Zotero<sup>26</sup>, Mendeley<sup>27</sup> e planilhas do Microsoft Excel<sup>28</sup> foram utilizadas

---

<sup>26</sup>Zotero: <https://www.zotero.org>

<sup>27</sup>Mendeley: <https://www.mendeley.com>

<sup>28</sup>Microsoft Excel: <https://microsoft.office.com/excel>

para organizar e selecionar os estudos das fontes de busca. Um material suplementar foi criado com a URL de cada um dos estudos selecionados e contém a *string* genérica de busca. O material está disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3576170>.

**Resultados gerais.** Esta RSL foi conduzida até Março/2019. Foram identificados 1039 artigos, recuperados das fontes de busca previamente definidas. Após eliminação dos estudos duplicados e não relacionados à RSL, restaram 112 estudos. Com a aplicação dos critérios de exclusão, o conjunto final de estudos selecionados resultou em 56 estudos primários relevantes para responder as QPs desta RSL.

Em síntese, os resultados obtidos com a interpretação dos estudos primários forneceram evidências sobre a variedade de LPS e abordagens aplicadas no gerenciamento de sistemas da IoT. Há uma ausência de estudos com especificação de abordagens sistemáticas ou diretrizes detalhadas para a modelagem de variabilidades em tempo de projeto em IoT. O espaço do problema não foi resolvido no gerenciamento de sistemas da IoT, apesar de que indícios positivos foram encontrados no conjunto final dos estudos selecionados. É importante ressaltar que nenhum estudo secundário foi identificado na literatura entre LPS e IoT. Deste modo, tal RSL apresenta um corpo de conhecimento inicial para o meio acadêmico e/ou industrial.

A segunda RSL entre LPS e SCF foi conduzida adotando o mesmo protocolo e estratégia de pesquisa definidos na primeira RSL entre LPS e IoT. Esta RSL não foi publicada e está em constante atualização. É importante destacar que vários estudos primários de tal RSL foram selecionados como trabalhos relacionados discutidos na Seção 3.1. A RSL é apresentada brevemente a seguir por meio de seu objetivo, QPs, fontes de busca, palavras-chave, *string* de busca, critérios de inclusão e exclusão, bem como os resultados gerais sintetizados.

**Objetivo.** Esta RSL tem como objetivo investigar como a engenharia de LPS tem sido aplicada em SCF, bem como a atividade de GV é realizada.

As seguintes **QPs** foram definidas:

- **QP1. Como LPS vêm sendo aplicadas em SCF?**
- **QP2. Como o GV de LPS é realizado em SCF?**
- **QP3. Quais abordagens, *frameworks*, ou plataformas utilizam LPS em SCF?**

**Fontes de busca, palavras-chave e *string* de busca.** As mesmas fontes de busca definidas na RSL entre LPS e IoT foram selecionadas para esta RSL. As palavras-chave também foram especificadas em uma *string* de busca genérica, adaptada em diferentes *strings* de busca conforme a base. Apenas as palavras-chave “*internet of things*” e “*IoT*” foram substituídas na *string* desta RSL pelas palavras-chave “*cyber-physical systems*” e “*cps*”. Portanto, a seguinte *string* foi definida: (“*cyber-physical systems*” OR “*cps*”) AND (“*software product line*” OR “*SPL*” OR “*product family engineering*” OR “*pfe*” OR “*software product family*” OR “*families of systems*” OR “*variability management*”).

**Critérios de Inclusão e Exclusão.** Os seguintes critérios foram definidos:

**Critérios de Inclusão (CI):**

**CI1.** Estudos secundários recuperados com revisões sistemáticas da literatura ou estudos de mapeamento que poderiam conter estudos primários relevantes para estas revisões sistemáticas;

**CI2.** Estudos que abordam os conceitos de engenharia de LPS e modelos para sistemas da SCF;

Foram definidos CI específicos para cada QP:

**CI3. QP1.** Verificar a existência e a aplicação ou adaptação de LPS em SCF;

**CI4. QP2.** Analisar o GV realizado e discutido nos estudos primários;

**CI5. QP3.** Identificar quais abordagens, *frameworks*, e/ou plataformas são propostas(os) nos estudos primários em SCF.

**Critérios de Exclusão (CE).** Os critérios **CE1** até **CE8** são os mesmos critérios definidos na RSL entre LPS e IoT. Contudo, o termo IoT não foi utilizado, pois foi substituído por SCF.

**Resultados gerais.** Esta RSL foi conduzida em 2019, sendo identificados 2044 estudos. Após eliminar os estudos duplicados e fora do escopo desta RSL, restaram 98 estudos. Na sequência foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão, totalizando um conjunto final de 53 estudos primários. Dentre esses estudos, foram selecionados e sintetizados 36 estudos como trabalhos relacionados. Esses trabalhos incluem cerca de uma dezena de estudos entre os anos de 2020-2022 (Seção 3.1), identificados utilizando alertas recebidos por e-mail das bases digitais por meio da *string* de busca.

Em síntese, os resultados obtidos com a interpretação dos estudos primários forneceram indícios sobre a modelagem de variabilidades e aplicação dos conceitos de LPS e abordagens em SCF. Em comparação com a RSL entre IoT e LPS, há uma poucos estudos que apresentam a especificação de abordagens sistemáticas ou diretrizes detalhadas para a modelagem de variabilidades em SCF. O espaço do problema não foi resolvido no gerenciamento de sistemas de SCF, apesar de que evidências apresentam caminhos e foram identificadas no conjunto final dos estudos selecionados.

Por fim, nenhum estudo secundário foi identificado na literatura entre LPS e SCF. Deste modo, tal RSL apresenta um corpo de conhecimento preliminar para o meio acadêmico e/ou industrial.

#### 4.3.1.2 Motivar e direcionar para o problema

No Seminário Dagstuhl 19071 os pesquisadores discutiram sobre a interoperabilidade e heterogeneidade em SCFs modernos em vários domínios (TÖRNGREN *et al.*, 2017) (TÖRNGREN e SELLGREN, 2018) (DESHMUKH *et al.*, 2019). Muitos programas de P&D&I investiram esforços para gerenciar tais características, mesmo que parcialmente (Seção 1.1). Assim, há um grande interesse no meio acadêmico e na indústria sobre como especificar essas características em SCF. A ausência de critérios padronizados e linguagens impacta diretamente tais características em SCFs, por exemplo: na agricultura, no gerenciamento espaço-temporal e monitorização distribuída em cidades inteligentes, e no nível de confiança nos sistemas ciber-humanos (DESHMUKH *et al.*, 2019).

A interoperabilidade e a heterogeneidade são duas características importantes em SCF, mas há dificuldade em modelar muitas características e variações em SCF. Um dos fatores é a falta de entendimento das principais características de SCF antes de implementar novas tecnologias, ferramentas ou melhorar as tecnologias existentes e emergentes. É importante reforçar que é necessário compreender os princípios de modelagem de características para a resolução de diferentes problemas (NEŠIĆ *et al.*, 2019) (BERGER *et al.*, 2020) (CAPÍTULO 1).

Acredita-se que processos apoiados por um conjunto de diretrizes ou recomendações podem contribuir na compreensão e modelagem das características e suas variações nas partes ciber e físicas de SCF (MONOSTORI *et al.*, 2016) (TRAPPEY *et al.*, 2016). A complexidade entre as variações e características

presentes entre as partes de SCF é um problema exponencial que pode ser resolvido parcialmente com abordagens de modelagem (TÖRNGREN e SELLGREN, 2018). Diante da alta complexidade de características em SCF, a identificação e representação das principais características de SCF é um ponto de partida que deve ser considerado. Neste contexto, é essencial orientar a modelagem das principais características de SCF com classificações dessas características com tipos de variabilidades, por processos apoiados por diferentes artefatos, incluindo modelos e diretrizes com recomendações.

Vários trabalhos como Meixner *et al.* (2020), Rabiser e Zoitl (2021) e Fadhlillah *et al.* (2021) exploram a engenharia de LPS aliada as atividades de GV e modelagem de variabilidades como um caminho para modelar características, configurações e variações de SCF. Neste sentido, Rabiser e Zoitl (2021) encorajam a modelagem sistemática de variabilidades em SPCF por meio da criação de novas abordagens de LPS ou multi perspectiva (FADHLILLAH *et al.*, 2021). Além disso, há uma tendência no desenvolvimento de abordagens multi passo (Projeto Zen-Configurator - Safdar *et al.* (2020)) e multi paradigma (Projeto MPM4CPS - Tekinerdogan *et al.* (2021)). Os referidos estudos são trabalhos relacionados comparados com a solução desta pesquisa na seção 3.1.

Esses trabalhos motivam o desenvolvimento desta pesquisa com base na modelagem das principais características de SCF e nos aspectos de variabilidade para SCF (os aspectos foram introduzidos no estudo de Krüger *et al.* (2017)). Os aspectos são detalhados na seção 2.2.1.1.5. Para o desenvolvimento da solução desta pesquisa (CAPÍTULO 5), os aspectos de variabilidades em tempo de projeto (*design-time*) e características de qualidade (KRÜGER *et al.*, 2017) são considerados fundamentais para a modelagem das principais características de SCF.

Portanto, o principal problema desta pesquisa envolve modelar de forma proativa as variabilidades das principais características de SCF em tempo de projeto considerando aspectos de qualidade no espaço do problema em SCF e LPS. Para isso, a próxima seção descreve os objetivos de uma solução para tal problema.

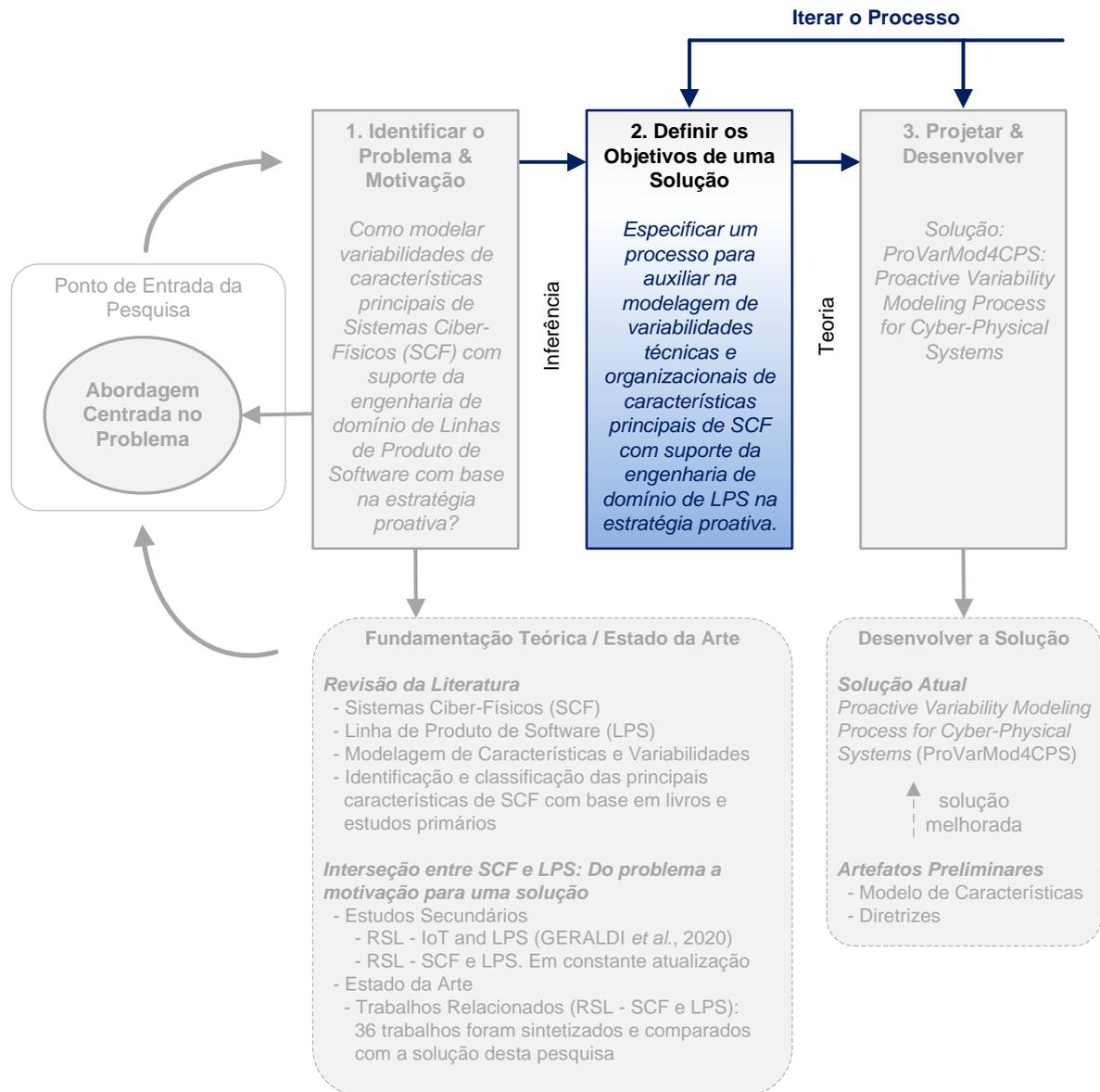
#### **4.3.2 Definir os Objetivos de uma Solução**

Esta segunda atividade na DSR “*inference of objectives from a problem definition and knowledge of what is possible and viable*” (PEFFERS *et al.*, 2007). Segundo Peffers *et al.* (2007), os objetivos são quantitativos ou qualitativos.

Peppers *et al.* (2007) define objetivos qualitativos como “*uma descrição de como um novo artefato é esperado para apoiar soluções para problemas até então não resolvidos*”. A natureza do objetivo desta pesquisa é qualitativa e descreve como um novo processo (artefato) resolve problemas de modelagem conforme a seguinte questão de pesquisa: **Como modelar variabilidades de características principais de SCF com suporte da engenharia de domínio de LPS com base na estratégia proativa?**

Para responder à questão de pesquisa, o **objetivo geral** desta pesquisa é **especificar um processo para auxiliar na modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais de características principais de SCF com suporte da engenharia de domínio de LPS com base na estratégia proativa.**

A Figura 25 ilustra esta segunda atividade na DSR referente ao objetivo geral desta pesquisa.



**Fundamentação Teórica / Estado da Arte**

**Revisão da Literatura**

- Sistemas Ciber-Físicos (SCF)
- Linha de Produto de Software (LPS)
- Modelagem de Características e Variabilidades
- Identificação e classificação das principais características de SCF com base em livros e estudos primários

**Interseção entre SCF e LPS: Do problema a motivação para uma solução**

- Estudos Secundários
- RSL - IoT and LPS (GERALDI *et al.*, 2020)
- RSL - SCF e LPS. Em constante atualização
- Estado da Arte
- Trabalhos Relacionados (RSL - SCF e LPS): 36 trabalhos foram sintetizados e comparados com a solução desta pesquisa

**Desenvolver a Solução**

**Solução Atual**

*Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems (ProVarMod4CPS)*

↑ solução melhorada

**Artefatos Preliminares**

- Modelo de Características
- Diretrizes

**Figura 25. Segunda Atividade - 2. Definir os Objetivos de uma Solução.**

O objetivo é estruturado com base na GQM (BASILI *et al.*, 1994): **Analisar o processo, com o propósito de** caracterizar a modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais das principais características de SCF com suporte da engenharia de domínio de LPS com base na estratégia proativa **em relação à** sua percepção de viabilidade, **do ponto de vista de** especialistas em SCF, LPS e de domínio **no contexto de** pesquisadores analisando a modelagem de variabilidades em SCF com os artefatos do processo (Diretrizes (*Guidelines*), *Feature Model* e um *Checklist*).

De acordo com o GQM, o processo é **analisado com o propósito de** caracterizar a modelagem das variabilidades técnicas e organizacionais das principais características de SCF para auxiliar na modelagem, minimizando os seguintes

problemas de modelagem e gestão (Seção 4.3.1): (i) entender as principais características de SCF; (ii) facilitar o gerenciamento de um grande número de variações em SCF; (iii) posicionar um processo padronizado apoiado por um conjunto de diretrizes com recomendações para modelar as principais características de SCF e as suas variações (MONOSTORI *et al.*, 2016) (TRAPPEY *et al.*, 2016); (iv) intersecção entre as partes de SCF, as suas características e as suas variações (TÖRNGREN e SELLGREN, 2018); e (v) reduzir e simplificar um pouco a complexidade das principais características de SCF (TÖRNGREN e SELLGREN, 2018).

Considerando a natureza de objetivos qualitativos definidos na DSR por Peffers *et al.* (2007), espera-se que um novo processo contribua para diminuir os problemas de modelagem mencionados com o apoio da engenharia de domínio de LPS moderna (baseada em Krüger *et al.* (2020) - Promote-pl) com base na estratégia proativa (CAPÍTULO 5). Os trabalhos de Krüger *et al.* (2017), Krüger *et al.* (2020), Meixner *et al.* (2020) e Rabiser e Zoitl (2021) fortalecem a importância da engenharia de LPS como uma alternativa para a modelagem sistemática de características ou variações em SCF.

Entre os aspectos de variabilidade classificados por Krüger *et al.* (2017), o tempo de resolução (por exemplo, tempo de projeto) e características de qualidade são essenciais para a criação do processo desta pesquisa (CAPÍTULO 5). O processo modela o aspecto e características de qualidade, sendo apoiado por uma classificação das características principais dos SCFs e por um *Feature Model* (artefato contido no processo). Assim, está pesquisa apresenta o projeto e desenvolvimento (Seção 4.3.3) de um processo com essa classificação de *feature model* e diretrizes (*guidelines*) com recomendações para modelar tais características como variabilidades técnicas e organizacionais (o processo é detalhado no CAPÍTULO 5). Estes tipos de variabilidade são posicionados em tempo de projeto e com características de qualidade dentro do espaço do problema em SCF e LPS.

**Em relação a** percepção de viabilidade do processo, o novo processo pode contribuir com o **ponto de vista** dos especialistas em SCF, LPS, e de domínio, fornecendo uma solução proativa e padronizada para ajudar tais especialistas durante a modelagem de SCF na engenharia de domínio de LPS moderna (as avaliações do processo são detalhadas em CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7). Neste **contexto**, pesquisadores ou profissionais podem analisar e se apropriarem do entendimento das

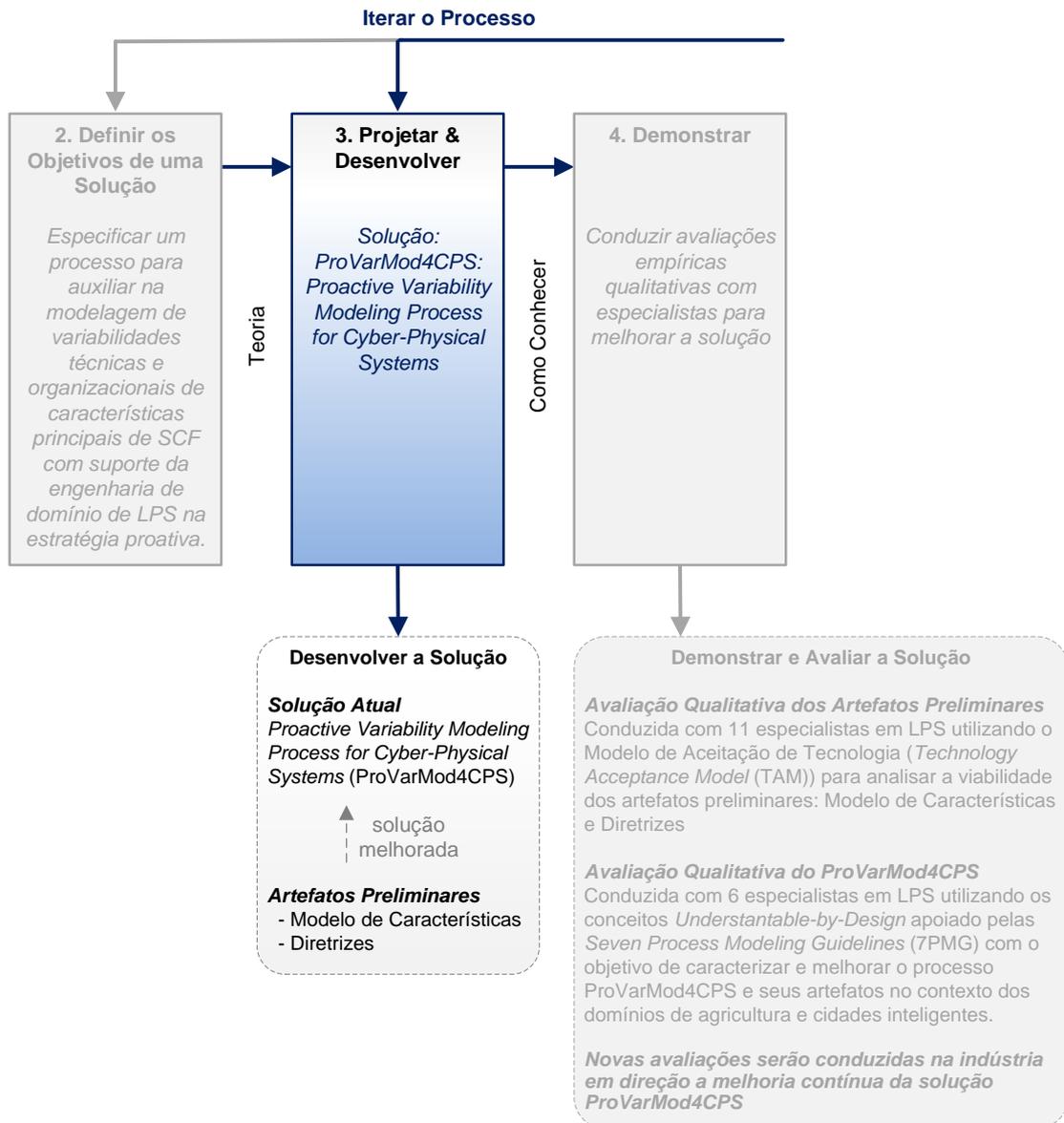
principais características de SCF para favorecer a modelagem de variabilidades em SCF. Assim, também é possível simplificar a complexidade durante a modelagem das principais características de SCF. A próxima seção apresenta os passos relacionados ao projeto e desenvolvimento do processo criado e seus artefatos.

### 4.3.3 Projetar e Desenvolver

O objetivo desta terceira atividade da DSR define “*criar um artefato. Tais artefatos são potencialmente constructos, modelos, métodos, ou instanciações*” (PEFFERS *et al.*, 2007). O artefato solução desta pesquisa é um processo apoiado por vários artefatos diferentes, sendo: modelos, diretrizes e um *checklist*.

A Figura 26 posiciona esta terceira atividade na DSR e as próximas subseções explicam os passos referente ao projeto e desenvolvimento de um processo (solução principal e seus artefatos) para modelagem de variabilidades de SCF chamado de ***Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems*** (ProVarMod4CPS).

O CAPÍTULO 5 apresenta e descreve detalhadamente o processo ProVarMod4CPS e seus artefatos, bem como apresenta exemplos de aplicação em SCF com apoio da engenharia de LPS.



**Figura 26. Terceira Atividade - 3. Projetar e Desenvolver.**

#### 4.3.3.1 Criar o processo ProVarMod4CPS e seu subprocesso

O ProVarMod4CPS é especificado para auxiliar na modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais de características principais de SCF com suporte da engenharia de domínio de LPS com base na estratégia proativa.

O ProVarMod4CPS foi concebido como processo de instanciação guiada criado utilizando a representação gráfica BPM e a notação BPMN. O ProVarMod4CPS foi criado originalmente por causa da necessidade em guiar pesquisadores e profissionais durante a modelagem de Variabilidades Técnicas e Organizacionais (VT e VO) por meio das principais características de SCF. As características são classificadas em um artefato chamado *Feature Model*. Esse artefato é apoiado por

dois artefatos chamados de Diretrizes (*Guidelines*) e *Checklist* para direcionar e fornecer recomendações para a modelagem de SCF. O ProVarMod4CPS e seus artefatos são utilizados por diferentes tipos de papéis, abrangendo: especialistas em SCF, LPS e de domínio de aplicação.

Para guiar os papéis durante a modelagem, o processo ProVarMod4CPS contém um conjunto de atividades e tarefas especificadas e que são representadas graficamente por meio da BPMN. As atividades e tarefas guiam os papéis na modelagem consumindo os artefatos de entrada e saída contidos no processo (*Feature Model*, Diretrizes (*Guidelines*) e *Checklist*). As principais tarefas do ProVarMod4CPS estão especificadas em um subprocesso principal. O subprocesso é responsável por atribuir várias tarefas aos papéis (especialistas) com a finalidade de direcionar, especificamente, a modelagem de VT e VO de SCF. O CAPÍTULO 5 (Seções 5.1 e 5.1.1) descreve detalhadamente as atividades, tarefas, papéis, artefatos, o subprocesso do ProVarMod4CPS e seus exemplos de aplicação.

As próximas subseções apresentam como os artefatos preliminares foram representados, especificados e originaram o processo ProVarMod4CPS (solução/artefato principal desta pesquisa).

#### 4.3.3.2 Representar o *feature model*

A primeira fase para o desenvolvimento do ProVarMod4CPS foi a criação de um *feature model* com a necessidade de identificar e classificar as principais características em SCF. Este modelo foi considerado um primeiro passo para guiar a modelagem de variabilidades em SCF com base na engenharia de LPS.

Antes da criação do *feature model*, uma identificação das principais características foi realizada por meio da leitura de livros da área de SCF e de alguns artigos. A Tabela 3 apresenta os autores referente a origem (livros ou artigos) em que características de SCF foram identificadas na literatura.

**Tabela 3. Autores e origem das características de SCF identificadas na literatura.**

<b>Livros e/ou Capítulos</b>	<b>Artigos</b>
Adhikari <i>et al.</i> (2015)	CyPhERs (2015)
Alur (2015)	CyPhERs (2014)
Bhadoria <i>et al.</i> (2015)	Schatz <i>et al.</i> (2015)
Lee e Seshia (2016)	Törngren <i>et al.</i> (2017)
Mallet <i>et al.</i> (2017)	Wu <i>et al.</i> (2011)
Nakajima <i>et al.</i> (2017)	
Rajkumar <i>et al.</i> (2017)	
Rawat <i>et al.</i> (2015)	
Siddesh <i>et al.</i> (2015)	
Song <i>et al.</i> (2017)	
Song <i>et al.</i> (2018)	
Stankovic <i>et al.</i> (2016)	
Sun e Song (2017)	
Wang e Nikolai (2018)	
Wang e Wang (2018)	
Wu e Sun (2017)	

As principais características de SCF foram identificadas nos livros para a fase posterior de classificação. As características identificadas como repetidas em mais de um livro foram excluídas. Do mesmo modo, os estudos selecionados na revisão sistemática entre SCF e LPS também auxiliaram na identificação e classificação de algumas das principais características de SCF.

Para cada característica identificada foi necessário revisar quais características poderiam estar associadas com outras características em SCF. A partir dessas associações entre as características, iniciou-se a classificação das características por meio da criação do *feature model* do ProVarMod4CPS, adotando várias definições de características de diferentes autores da literatura (CAPÍTULO 2).

A ferramenta FeatureIDE<sup>29</sup> (MEINICKE *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2016) foi utilizada para apoiar a criação do *feature model* do ProVarMod4CPS. A criação de tal modelo na FeatureIDE foi simples por causa dos seus mecanismos gráficos de representação de características (*features*), validação de restrições (*constraints*) e sua capacidade de validar relacionamentos entre as características. Esse tipo de representação foi escolhido para tal classificação em razão da sua ampla adoção pela

<sup>29</sup> FeatureIDE site: <https://featureide.github.io/>

comunidade científica, simplicidade, flexibilidade de criação e seu alto nível de abstração perante a modelagem de características no contexto da engenharia de LPS.

Cada uma das características pais e filhas foram representadas e associadas no *feature model* por meio de tipos diferentes de relacionamentos básicos (mandatório, opcional, grupo alternativo e grupo OU). Assim, as características pais e filhas podem ou não serem selecionadas para validação por meio dos mecanismos de modelagem de variabilidades disponíveis na FeatureIDE. Com isso, tal modelo é um primeiro artefato para iniciar e guiar a modelagem de variabilidades em SCF.

#### 4.3.3.3 Especificar diretrizes

As diretrizes do ProVarMod4CPS foram especificadas com base nas características classificadas e abstraídas no *feature model* descrito na etapa anterior. Após a criação do *feature model*, iniciou-se a especificação das diretrizes preliminares do ProVarMod4CPS.

Foram especificadas um conjunto de onze diretrizes principais com pelo menos uma ou várias sub diretrizes. Estas onze diretrizes representam as características principais de SCF classificadas no *feature model*, sendo associadas com suas características subsequentes. Para cada uma das diretrizes foi atribuído um nome específico e foram associadas com as respectivas definições de uma ou várias características advindas da literatura de SCF.

A Tabela 4 apresenta as características identificadas na literatura (livros e artigos) que foram adaptadas como Diretrizes (artefato) no *feature model* para modelagem de variabilidades utilizando o ProVarMod4CPS. O CAPÍTULO 5 (Seções 5.2 e 5.3) representa essas principais características de SCF (TV e OV) no artefato *ProVarMod4CPS - Feature Model*.

Tabela 4. Características adaptadas da literatura no artefato Diretrizes do ProVarMod4CPS.

Características ( <i>Features</i> ) / Diretrizes	Livros e/ou Capítulos	Artigos
<b>Technical Variabilities TV</b>		
<i>ReactiveBehavior</i>	Alur (2015)	
<i>Concurrency</i>		
<i>RealTimeComputation</i>	Alur (2015), Song <i>et al.</i> (2018) e Wang e Nikolai (2018)	
<i>SecurityResiliency</i>	Stankovic <i>et al.</i> (2016), Rajkumar <i>et al.</i> (2017), Song <i>et al.</i> (2018) e Wang e Nikolai (2018)	
<i>PerformanceXInteroperabilityXHeterogeneity</i>	-	-
<i>Performance</i>	Nakajima <i>et al.</i> (2017), Lee e Seshia (2016) e Mallet <i>et al.</i> (2017)	
<i>Interoperability</i>	Song <i>et al.</i> (2017), Wang e Wang (2018), Song <i>et al.</i> (2018), Wang e Nikolai (2018) e Stankovic <i>et al.</i> (2016)	CyPhERS (2014), CyPhERS (2015), Schatz <i>et al.</i> (2015) e Törngren <i>et al.</i> (2017)
<i>Heterogeneity</i>	Song <i>et al.</i> (2018), Wang e Nikolai (2018), Bhadoria <i>et al.</i> (2015), Siddesh <i>et al.</i> (2015), Nakajima <i>et al.</i> (2017), Lee e Seshia (2016) e Mallet <i>et al.</i> (2017)	
<i>CPSComponents</i>	Wang e Wang (2018), Stankovic <i>et al.</i> (2016), Bhadoria <i>et al.</i> (2015), Siddesh <i>et al.</i> (2015), Rajkumar <i>et al.</i> (2017), Adhikari <i>et al.</i> (2015), Rawat <i>et al.</i> (2015) e Alur (2015)	CyPhERS (2014), CyPhERS (2015), Schatz <i>et al.</i> (2015) e Wu <i>et al.</i> (2011)
<i>PlatformAware</i>	Rajkumar <i>et al.</i> (2017), Nakajima <i>et al.</i> (2017), Mallet <i>et al.</i> (2017), Lee e Seshia (2016) e Wang e Wang (2018)	CyPhERS (2014), CyPhERS (2015) e Schatz <i>et al.</i> (2015)
<i>VerificationAndValidation</i>	Adhikari <i>et al.</i> (2015), Rawat <i>et al.</i> (2015), Bhadoria <i>et al.</i> (2015) e Siddesh <i>et al.</i> (2015)	
<i>DynamicTopologicalStructure</i>	Sun e Song (2017) e Wu e Sun (2017)	
<b>Organizational Variabilities OV</b>		
<i>LifeCycleXAutomationLevels</i>	-	
<i>LifeCycle</i>	Song <i>et al.</i> (2018), Nakajima <i>et al.</i> (2017), Mallet <i>et al.</i> (2017),	Törngren <i>et al.</i> (2017)

	Stankovic <i>et al.</i> (2016), Adhikari <i>et al.</i> (2015) e Rawat <i>et al.</i> (2015)	
<i>AutomationLevels</i>	Wang e Wang (2018) e Song <i>et al.</i> (2017)	CyPhERS (2014), CyPhERS (2015), Schatz <i>et al.</i> (2015) e Törngren <i>et al.</i> (2017)
<i>HumanInteractionProcess</i>	Wang e Wang (2018), Bhadoria <i>et al.</i> (2015), Siddesh <i>et al.</i> (2015) e Stankovic <i>et al.</i> (2016)	CyPhERS (2014), CyPhERS (2015), Schatz <i>et al.</i> (2015) e Wu <i>et al.</i> (2011)
<i>CloudComputing</i>	Adhikari <i>et al.</i> (2015), Rawat <i>et al.</i> (2015), Bhadoria <i>et al.</i> (2015), Siddesh <i>et al.</i> (2015) e Wang e Wang (2018)	Schatz <i>et al.</i> (2015) e Wu <i>et al.</i> (2011)
<i>CrossCuttingAspects</i>	Song <i>et al.</i> (2017), Wang e Wang (2018), Adhikari <i>et al.</i> (2015) e Rawat <i>et al.</i> (2015)	CyPhERS (2014), CyPhERS (2015), Schatz <i>et al.</i> (2015), Törngren <i>et al.</i> (2017) e Wu <i>et al.</i> (2011)

Por causa da complexidade da área de SCF, a maioria das diretrizes foi associada com várias características do *feature model*. Assim, as diretrizes foram especificadas por meio de características pais e filhas restringidas por meio de tipos de relacionamentos básicos (mandatório, opcional, grupo alternativo e grupo OU). Esses relacionamentos já haviam sido definidos previamente no *feature model* do ProVarMod4CPS.

Após isso, as diretrizes foram adaptadas em descrições de questões específicas no formato de um *checklist* como um meio para guiar a modelagem de variabilidades em SCF. Tal *checklist* é apresentada na próxima seção.

#### 4.3.3.4 Elaborar *checklist*

Um *checklist* preliminar foi elaborada como um recurso inicial para facilitar a aplicação prática das diretrizes do ProVarMod4CPS. Essa *checklist* contém questões associadas à cada uma das diretrizes e características do ProVarMod4CPS com o objetivo de guiar os especialistas de domínio na modelagem de variabilidades em SCF.

Cada questão foi descrita com o objetivo de verificar se as principais características de SCF foram modeladas em uma LPS, representada por meio de um *feature model*. As questões devem ser respondidas por meio das alternativas “**Sim**” ou “**Não**”.

Para cada questão da *checklist* respondida com “**Sim**” ou “**Não**”, um campo foi criado para permitir aos especialistas de domínio “**Descrever a situação atual**” da modelagem atual, com o objetivo de auxiliá-los na descrição e comparação do conteúdo contido em outro campo chamado “**Recomendações de melhoria**” (*MR. Modeling Recommendations*).

O campo “**Descrever a situação atual**” foi criado para ajudar o especialista a descrever e posicionar como a sua modelagem atual havia sido realizada. Assim, o campo de “**Recomendações de melhoria**” ajuda a observar como a modelagem atual pode ser melhorada ou ajustada conforme as restrições imperativas descritas nas diretrizes do ProVarMod4CPS.

O campo de “**Recomendações de melhoria**” contém o que deverá ser melhorado na modelagem de variabilidades na LPS atual ou em uma nova LPS, conforme o especialista julgar necessário. Deste modo, a ideia da *checklist* é guiar e auxiliar o especialista por meio de recomendações que ajudem a raciocinar como melhorar a modelagem de uma LPS no contexto de SCF. O CAPÍTULO 5 (Seção 5.4) reforça a utilização do artefato *checklist* por meio de um exemplo de aplicação da TV.6. *Cyber-Physical Systems (CPS) Components* no domínio da agricultura.

A *checklist* não foi avaliada por especialistas no momento da aplicação da avaliação de viabilidade do *feature model* e das diretrizes (*guidelines*) do ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 6). Entretanto, a *checklist* foi mencionada e estava disponível durante a avaliação ProVarMod4CPS e seus artefatos em um segundo estudo qualitativo, detalhado no CAPÍTULO 7.

#### 4.3.4 Demonstrar

Quarta atividade responsável por avaliar o ProVarMod4CPS e seus artefatos por meio da condução de dois estudos empíricos qualitativos. Esta quarta atividade na DSR permite “*demonstrar a utilização do artefato para resolver uma ou mais instancias do problema. Pode envolver sua utilização em experimentação, simulação, estudos de caso, provas, ou outras atividades apropriadas*” (PEFFERS *et al.*, 2007).

Os estudos empíricos qualitativos conduzidos para avaliar o ProVarMod4CPS e seus artefatos buscam corroborar com o crescimento da engenharia de LPS empírica, conforme experimentos e casos de estudos discutidos na RSL conduzida por Chacón-Luna *et al.* (2020). Entretanto, não foram conduzidos estudos

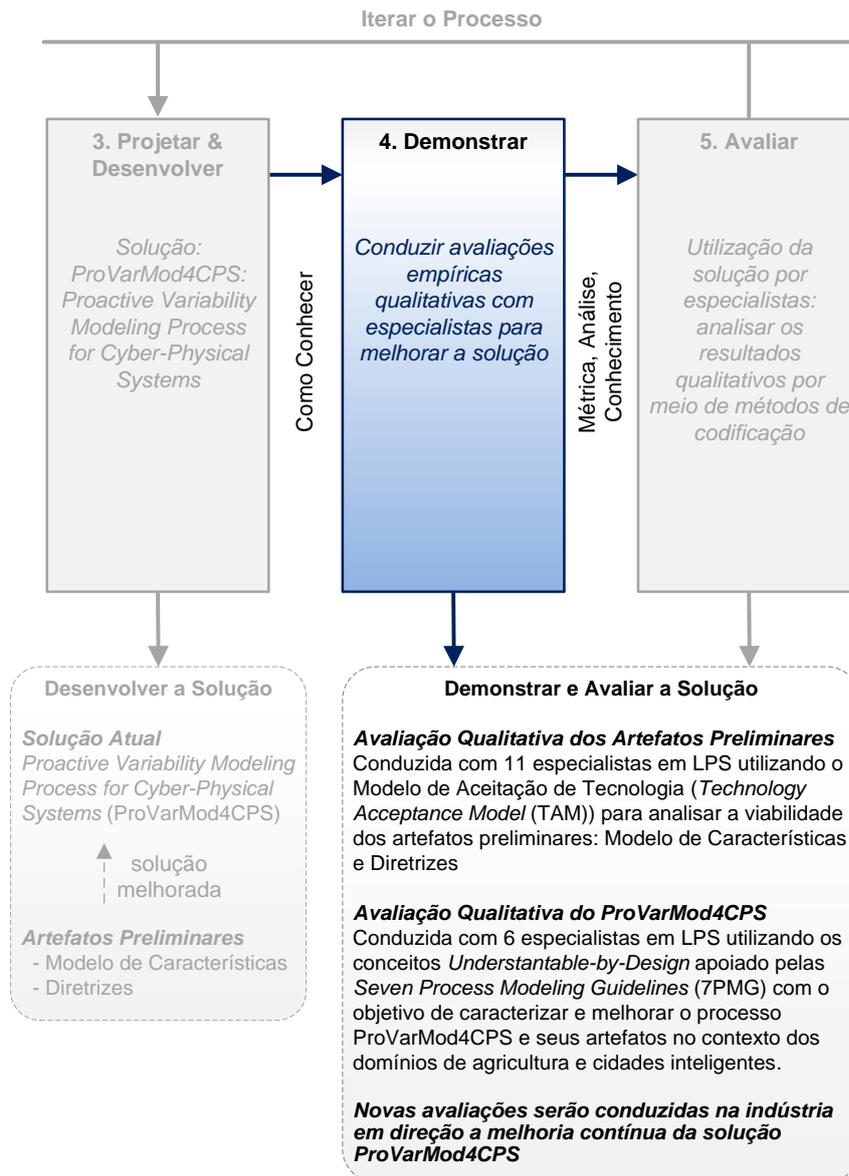
quantitativos tendo em vista o universo restrito de especialistas em ambas as áreas de SCF e LPS.

Vários esforços são considerados para que os participantes não tenham qualquer risco. No entanto, existe o risco de o participante sentir-se constrangido em participar. Neste caso, o participante poderá manifestar seu desconforto e abandonar a pesquisa a qualquer momento. Os dados pessoais dos participantes não serão divulgados como resultados desta pesquisa, garantindo seu anonimato.

Por causa do momento peculiar em que esta pesquisa foi desenvolvida, referente à pandemia da COVID-19, foi identificado o risco de não ser possível realizar a aplicação dos questionários presencialmente nas universidades ou empresas. Como forma de contornar essa adversidade, os questionários foram aplicados no formato on-line. Os questionários on-line foram respondidos por professores/pesquisadores em nível de pós-graduação ou profissionais da indústria maiores de 18 anos com conhecimento em engenharia de software, LPS ou SCF. Foram coletadas informações por meio de contatos (participantes) remotos utilizando plataformas de reunião on-line. Entretanto, é possível que isso venha a introduzir um certo viés. Os participantes podem não esclarecer todas as suas dúvidas com o pesquisador nos momentos de aplicação e/ou coleta das respostas em relação ao questionário on-line, limitando a abrangência dos resultados.

Para mitigar tal cenário, o pesquisador estava disponível remotamente durante toda a avaliação na plataforma on-line para acompanhar e solucionar quaisquer dúvidas dos participantes. Se necessário, dias e horários distintos são marcados com cada participante individualmente e remotamente via e-mail e/ou por meio das plataformas on-line. O objetivo do atendimento individual e virtual será minimizar impactos do COVID-19, bem como tornar o momento de aplicação dos questionários on-line mais confortável para todos os participantes. Assim, acredita-se que riscos ou efeitos de fadiga ou stress dos participantes serão minimizados em tal contexto.

Em relação ao cenário particular e riscos mencionados dos participantes nesta pesquisa, a Figura 27 ilustra a quarta atividade na DSR associada as avaliações qualitativas conduzidas neste contexto.



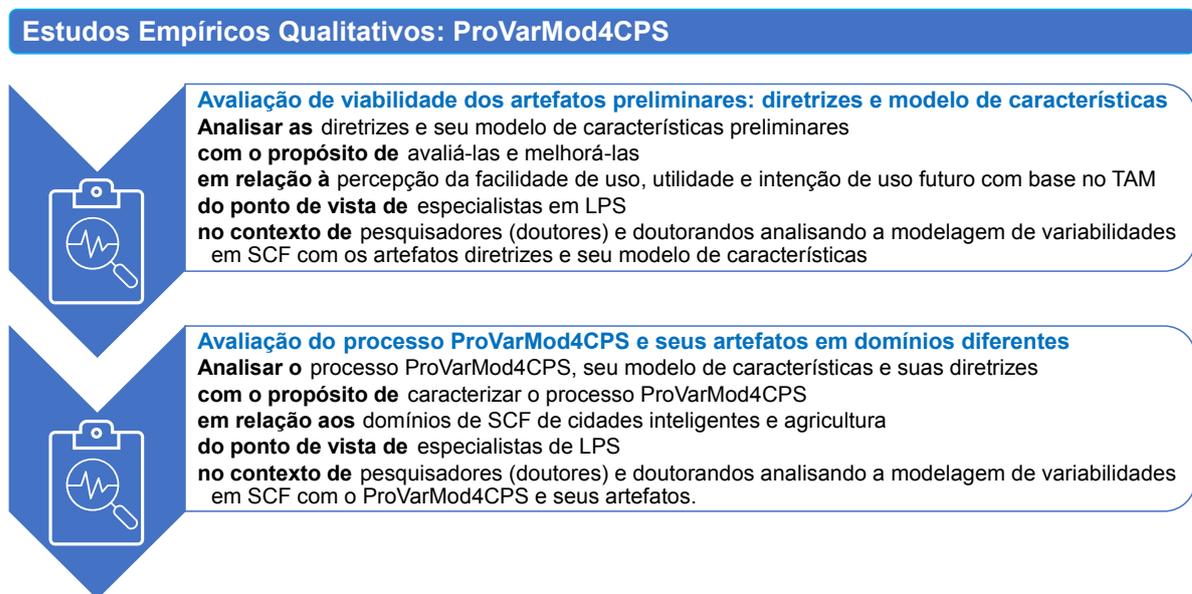
**Figura 27. Quarta Atividade - 4. Demonstrar.**

O primeiro estudo avaliou os artefatos preliminares (Diretrizes (*Guidelines*) e *Feature Model*) do ProVarMod4CPS com 11 especialistas em LPS, utilizando um Questionário de Avaliação (Apêndice B.4). Este questionário foi elaborado com base no *Technology Acceptance Model (TAM)* (VENKATESH e BALA, 2008; MARANGUNIĆ e GRANIĆ, 2015). Este primeiro estudo conduzido não é suficiente para avaliar a aplicação do ProVarMod4CPS, apenas sua viabilidade em termos de facilidade de utilização, utilidade e intenção de uso futuro com base no TAM.

Após a análise dos resultados obtidos no primeiro estudo e melhoria dos artefatos preliminares, o segundo estudo avaliou o processo ProVarMod4CPS e seus artefatos. Seis especialistas em LPS participaram do estudo e cada especialista

respondeu a dois Questionários sobre o ProVarMod4CPS e seus artefatos (Apêndice C.5 e C.6). Vídeos no YouTube<sup>30</sup> e um Roteiro (passo-a-passo) foram criados e disponibilizados para guiar a participação dos especialistas no estudo com a finalidade de garantir uma participação homogênea dos participantes, aliada ao correto preenchimento dos questionários. Neste contexto, o ProVarMod4CPS foi avaliado pelos participantes seguindo os métodos de avaliação *Understandable-by-Design* e as diretrizes de avaliação de processos chamada 7PMG (MENDLING *et al.*, 2010; REIJERS *et al.*, 2010) (Seção 4.1.6).

Os objetivos de cada um dos estudos são estruturados com base na GQM (BASILI *et al.*, 1994). A Figura 28 ilustra os objetivos.



**Figura 28. Objetivos de cada estudo empírico.**

As fases para condução destes dois estudos empíricos qualitativos são apresentadas a seguir, conforme os passos adaptados do protocolo experimental de Wohlin *et al.* (2012).

#### 4.3.4.1 Demonstrar a viabilidade dos artefatos preliminares: diretrizes e *feature model*

Este estudo avaliou a viabilidade do *feature model* e das diretrizes preliminares do ProVarMod4CPS com o objetivo de responder as seguintes questões: “**Você considera o conjunto inicial de diretrizes (*guidelines*) e seu modelo de**

<sup>30</sup> YouTube: <https://www.youtube.com>

características (*feature model*) como artefatos preliminares fáceis de utilizar e úteis?; Quais são suas intenções de utilização desses artefatos no futuro?”. A *checklist* foi apresentada com possíveis exemplos de aplicação no domínio da agricultura arável, mas não foi avaliada diretamente pelos participantes porque estava em fase de desenvolvimento.

**Fases da avaliação.** Apresenta as fases do método de pesquisa definido para esta avaliação: definição do escopo, planejamento, execução, e análise e interpretação dos resultados referente as diretrizes e do *feature model* da ProVarMod4CPS. Os resultados obtidos nesta avaliação referentes às fases de análise e interpretação dos resultados, bem como as principais ameaças à validade são discutidas na Seção 4.3.5.1 e no CAPÍTULO 6.

A Figura 29 ilustra as fases desta avaliação, representadas por meio de um processo.

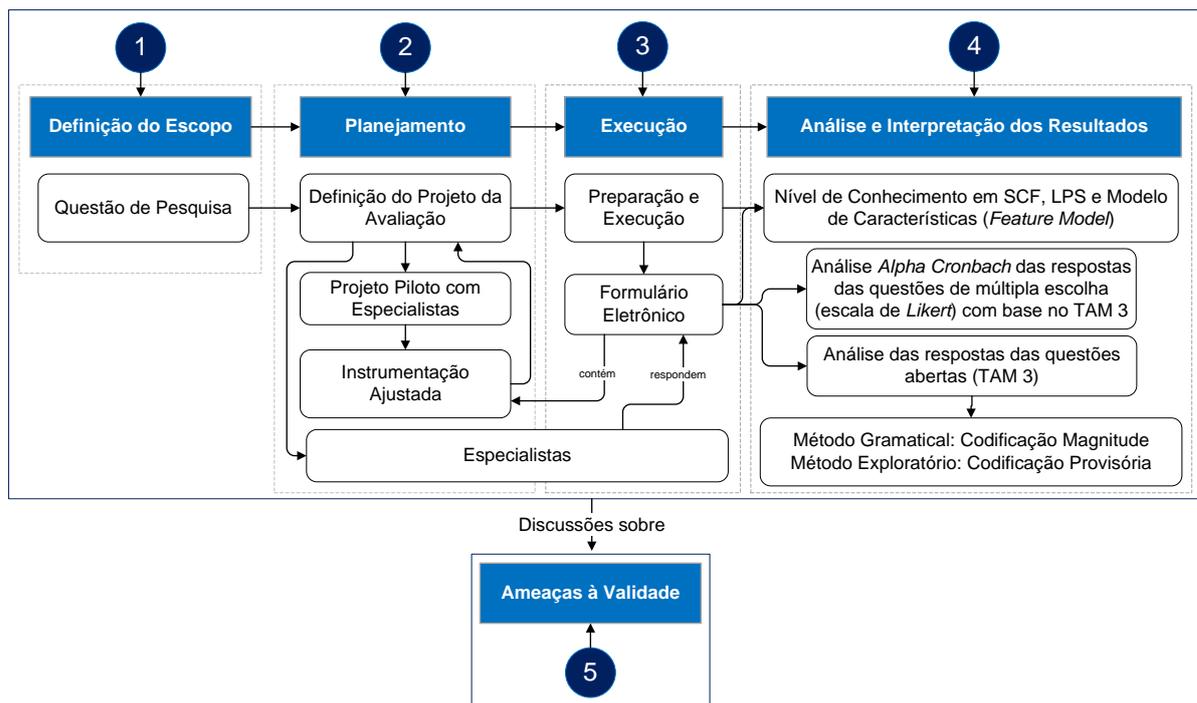


Figura 29. Processo com fases desta avaliação qualitativa de viabilidade.

**Definição do escopo.** Com base na GQM (BASILI *et al.*, 1994), o objetivo desta avaliação é: **Analisar as diretrizes e o modelo de características (*feature model*) preliminares, com o propósito de avaliá-las e melhorá-las em relação à percepção da facilidade de uso, utilidade e intenção de uso futuro com base no TAM, do ponto de vista de especialistas em LPS no contexto de pesquisadores (doutores) e**

doutorandos analisando a modelagem de variabilidades em SCF com os artefatos diretrizes e o *feature model*.

**Planejamento.** Nesta etapa são descritos o projeto piloto, o treinamento, o perfil dos especialistas e a instrumentação desta avaliação.

**Projeto piloto.** Três especialistas em LPS participaram de um estudo piloto e contribuíram para o ajuste e criação de uma nova versão da instrumentação desta avaliação. As respostas coletadas dos especialistas desse estudo piloto foram isoladas e analisadas em um grupo diferente sem nenhuma relação com as respostas dos especialistas efetivos desta avaliação.

**Treinamento.** Nenhum treinamento sobre a utilização das diretrizes e do *feature model* foi realizado com os especialistas em LPS. Entretanto, exemplos de aplicação no domínio da agricultura arável foram desenvolvidos utilizando diretrizes e o *feature model*. Esses exemplos poderiam ser consultados pelos especialistas no momento da realização da avaliação com o intuito de facilitar o entendimento das diretrizes e do *feature model*. Os exemplos de aplicação não foram avaliados diretamente pelos especialistas.

**Especialistas.** São pesquisadores ou e/ou docentes que trabalham diretamente com engenharia de software e já realizaram pesquisas em LPS nos últimos anos. Todos os 11 especialistas (incluindo 3 especialistas do projeto piloto) têm, em média, 16 anos de experiência. Os especialistas são de 9 diferentes universidades no Brasil.

**Instrumentação.** Um formulário eletrônico foi elaborado no Google Forms<sup>31</sup> e enviado individualmente para cada especialista por meio de um convite via e-mail: <https://forms.gle/b4SYzYLrHwgrhozUA> (versão em Português – nomes antigos atribuídos aos artefatos CyPhySPL / GTR-CPSPL – nome atual ProVarMod4CPS); e <https://forms.gle/NooMypnrgWeP6He48> (versão em Inglês). O formulário contém vários passos correspondentes aos documentos: (i) Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE); (ii) Questionário de Caracterização de Perfil (Apêndice B.3); (iii) Conceitos Básicos sobre SCF, LPS e *Feature Model*; (iv) Os artefatos preliminares chamados de Diretrizes e *Feature Model*; (v) Exemplos de Aplicação das Diretrizes no Domínio da Agricultura Arável (NISPEN, 2018); e (vi) Questionário de Avaliação elaborado com base no TAM (Apêndice B.4). É importante mencionar que o formulário

---

<sup>31</sup> Google Forms: <https://docs.google.com/forms/>

contém o nome atribuído aos artefatos como “CyPhySPL” ou “GTR-CPSPL”. O nome da proposta foi alterado ao longo das avaliações desta pesquisa com o objetivo de torná-lo adequado a esta pesquisa, além de não possuir qualquer tipo de semelhança com nomes de abordagens ou tecnologias já existentes na literatura de SCF e LPS. O CAPÍTULO 5 apresenta o nome final do processo desenvolvido nesta pesquisa, denominado ProVarMod4CPS.

**Execução ou Operação.** Nesta etapa são descritos os procedimentos para a execução e coleta dos dados referentes à condução desta avaliação. Esses procedimentos incluem a obtenção do nível de conhecimento dos especialistas por meio do Questionário de Caracterização de Perfil (Apêndice B.3), bem como suas respostas por meio do Questionário de Avaliação (Apêndice B.4).

**Procedimentos de participação dos especialistas.** O pesquisador desta avaliação envia um convite via e-mail para solicitar a participação dos especialistas. No e-mail contém um link com um formulário eletrônico. O especialista pode ou não aceitar participar da avaliação. Se o especialista aceitar participar, ele/ela deve acessar o link do formulário eletrônico para iniciar a avaliação em até 22 dias.

Na primeira etapa o(a) especialista preenche seu e-mail, nome completo, faz a leitura do TCLE e compreende o que deverá realizar nas próximas tarefas e etapas da avaliação. Na segunda etapa, o especialista faz a leitura e preenchimento do Questionário de Caracterização de Perfil (Apêndice B.3). Na terceira etapa, o especialista faz a leitura de um documento com os Conceitos Básicos sobre SCF, LPS e *Feature Model*. Na quarta etapa, o especialista faz a leitura e análise das Diretrizes e do *Feature Model*. Na quinta etapa, o especialista faz a leitura e consulta de um documento com Exemplos de Aplicação das Diretrizes no Domínio da Agricultura Arável. Na última etapa o especialista faz a leitura de um Questionário de Avaliação das Diretrizes (Apêndice B.4) e responde questões de múltipla escolha e questões abertas utilizando o TAM. As questões são sobre a facilidade de uso, utilidade e intenção de uso futuro das Diretrizes e do *Feature Model*. Ao chegar no fim dessa última etapa, cada especialista envia individualmente o formulário eletrônico completo e respondido com todos os documentos. Se necessário, o especialista pode voltar e avançar em todos os passos do formulário eletrônico a fim de consultar novamente alguma informação ou realizar alterações nas suas respostas.

**Nível de conhecimento dos especialistas.** Nessa etapa, são coletados os dados de todos os especialistas que preencheram o Questionário de Caracterização

de Perfil (Apêndice B.3). São coletados dados de cada especialistas sobre a sua formação, setor de atuação, experiência na área (anos), experiência com SCF, experiência com LPS e GV, e experiência com *feature model*.

**Questionário de avaliação.** As questões foram respondidas por todos os 11 especialistas (incluindo os 3 especialistas do projeto piloto). Esse Questionário de Avaliação (Apêndice B.4) possui 8 questões, sendo 3 questões de múltipla escolha e 5 questões abertas sobre a facilidade de uso, utilidade e intenção de uso futuro dos artefatos Diretrizes e o *Feature Model*.

As questões de múltipla escolha permitiram aos especialistas avaliarem a concordância de quanto as Diretrizes e o *Feature Model* são fáceis e úteis sob a perspectiva do TAM. As questões de múltipla escolha utilizam a escala de *Likert* com 5 itens: Discordo Totalmente; Discordo Parcialmente; Eu não Aceito e Eu não Discordo; Aceito Parcialmente; e Aceito Totalmente.

As questões abertas também possibilitaram aos especialistas descreverem os aspectos positivos, negativos, sugestões e recomendações em relação as suas percepções gerais sobre as Diretrizes e o *Feature Model*. Todas as questões estão disponíveis no Apêndice B.

**Análise e Interpretação.** Conforme a DSR, a atividade Avaliação (Seção 4.3.5.1) apresenta os resultados da avaliação de viabilidade dos artefatos preliminares Diretrizes e o *Feature Model*.

#### 4.3.4.2 Demonstrar o processo ProVarMod4CPS e seus artefatos em domínios diferentes

Após a avaliação de viabilidade dos artefatos preliminares desenvolvidos nesta pesquisa (Diretrizes e *Feature Model*), o processo ProVarMod4CPS foi concebido. Este estudo avaliou a caracterização do processo ProVarMod4CPS e seus artefatos por especialistas de LPS em domínios diferentes.

O objetivo principal é caracterizar e melhorar o ProVarMod4CPS e seus artefatos com base em métodos de avaliação de processos (MENDLING *et al.*, 2010; REIJERS *et al.*, 2010), por meio da modelagem de características, bem como coleta do *feedback* dos especialistas por meio de questões abertas sobre o processo e seus artefatos. Neste contexto, este estudo avaliou o ProVarMod4CPS e seus artefatos com o objetivo de responder as seguintes questões:

- “Você considera o processo entendível com base nas afirmações das *Seven Process Modeling Guidelines (7PMG)* (MENDLING *et al.*, 2010)?”;
- “O processo é *Understandable-by-Design* (MENDLING *et al.*, 2010; REIJERS *et al.*, 2010)?”;
- “Você acredita que a indústria poderia utilizar o processo?”; e “Você considera o processo complexo para ser utilizado na indústria?”.

Esta avaliação está estruturada conforme as seguintes fases de avaliação adaptadas de Wohlin *et al.* (2012): definição do escopo, planejamento, execução, e análise e interpretação dos resultados. Os resultados obtidos nesta avaliação referentes às fases de análise e interpretação dos resultados, bem como as principais ameaças à validade são discutidas na Seção 4.3.5.2 e no CAPÍTULO 7.

A Figura 30 apresenta as fases desta avaliação.

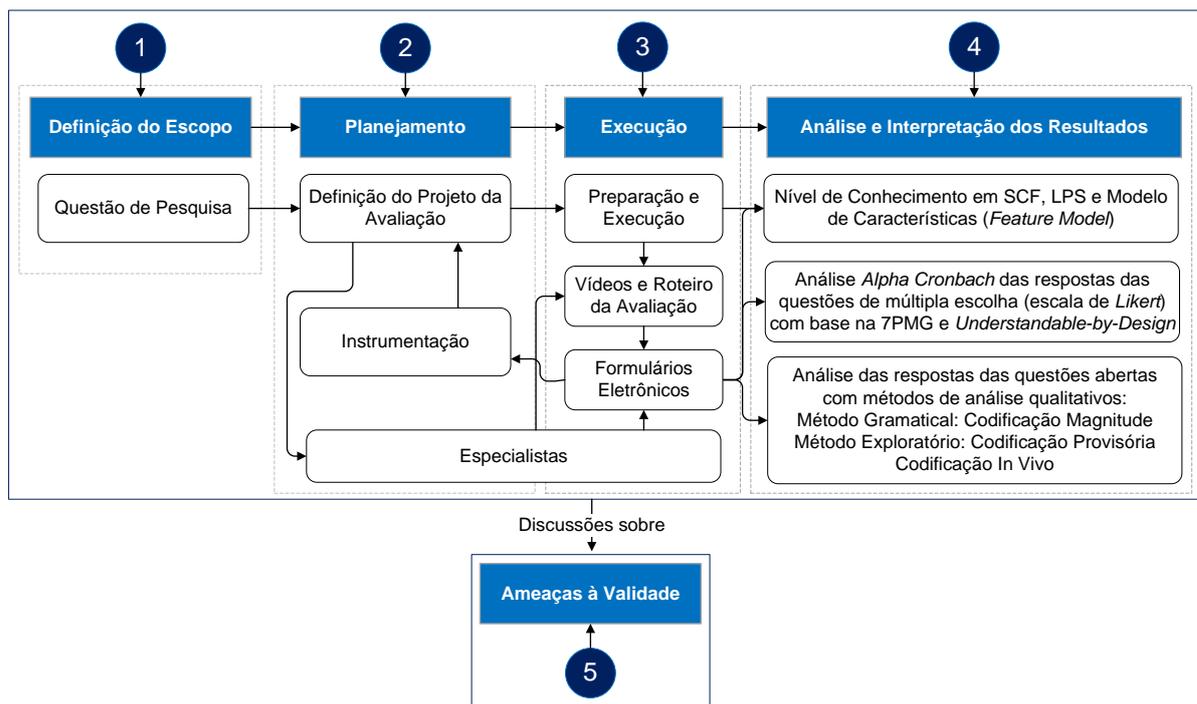


Figura 30. Processo com fases desta avaliação qualitativa sobre o ProVarMod4CPS.

**Definição do escopo.** Conforme a GQM (BASILI *et al.*, 1994), o objetivo deste estudo é: **Analisar o** processo ProVarMod4CPS, seu modelo de características (*feature model*) e suas diretrizes (*guidelines*) **com o propósito de** caracterizar o processo ProVarMod4CPS **em relação aos** domínios de SCF de cidades inteligentes e agricultura **do ponto de vista de** especialistas de LPS **no contexto de**

pesquisadores (doutores) e doutorandos analisando a modelagem de variabilidades em SCF com o ProVarMod4CPS e seus artefatos.

**Planejamento.** Nesta etapa são descritos, o treinamento, o perfil dos especialistas e a instrumentação desta avaliação.

**Treinamento.** Um treinamento foi realizado para explicar aos especialistas o funcionamento do processo ProVarMod4CPS e seus artefatos (*Feature Model* e Diretrizes). O objetivo do treinamento está associado a compreensão dos especialistas sobre o ProVarMod4CPS apoiado pela consulta de exemplos que serviram como um guia durante a fase de execução do estudo. As definições, incluindo os conceitos básicos, bem como o funcionamento do ProVarMod4CPS foram explicados por meio de slides criados no Microsoft PowerPoint<sup>32</sup>.

Exemplos no domínio de cidades inteligentes foram apresentados por meio de slides com vídeo e áudio aos participantes para facilitar o entendimento do ProVarMod4CPS. Um vídeo foi gravado sobre a utilização do ProVarMod4CPS com exemplos de modelagem no domínio de cidades inteligentes. Um roteiro foi criado para guiar os especialistas durante esta fase de treinamento (Apêndice C.2). A explicação dos passos de como modelar esses exemplos foi assistida pelos participantes durante o treinamento em vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=bB1kZ8XNZtg>. A modelagem de tais exemplos foi realizada pelos especialistas no formulário eletrônico de treinamento, disponível no Apêndice C.5 e em: [https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_esyBIMAZ8pmM1My](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_esyBIMAZ8pmM1My). Os exemplos de aplicação não foram avaliados pelos especialistas de LPS como resultados desta avaliação.

**Especialistas.** A seleção de participantes não ocorreu aleatoriamente, porque o universo de participantes é restrito. Os especialistas são pesquisadores (doutores), docentes e doutorandos que trabalham diretamente com engenharia de software e realizaram pesquisas em LPS nos últimos anos.

Quarenta especialistas de LPS foram convidados para participarem do estudo. Seis especialistas contribuíram com este estudo para caracterizar o ProVarMod4CPS e evoluir seus artefatos. Os especialistas têm, em média, 6 anos de experiência. Os especialistas são de cinco universidades diferentes. O conhecimento e experiência

---

<sup>32</sup> Microsoft PowerPoint site: <https://www.office.com/>

dos especialistas contribuiu para caracterizar as características nos domínios da agricultura e cidades inteligentes no escopo do ProVarMod4CPS.

**Instrumentação.** Dois formulários eletrônicos foram criados no Qualtrics<sup>33</sup> e enviados individualmente para cada especialista por meio de um convite via e-mail (Apêndice C.1). Caso o especialista aceite participar, o convite descreve os passos necessários para guiar o especialista em sua participação na avaliação. Um Roteiro Interativo (Apêndice C.2) foi enviado em anexo ao convite para apresentar os passos de participação.

Em relação aos dois formulários, um primeiro formulário eletrônico é referente ao treinamento deste estudo e um segundo formulário é referente as questões efetivas para a avaliação do ProVarMod4CPS. Ambos os formulários foram elaborados em Português e Inglês. Os participantes podem escolher o idioma de sua preferência.

O primeiro formulário eletrônico de treinamento está disponível no Apêndice C.5 e no link: [https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_esyBIMAZ8pmM1My](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_esyBIMAZ8pmM1My). Esse primeiro formulário tem vários passos correspondentes aos seguintes documentos: (i) TCLE; (ii) Questionário de Caracterização de Perfil; (iii) Conceitos básicos de SCF, LPS, Modelagem de Características, e Modelagem de Variabilidades de SCF; (iv) A documentação do processo ProVarMod4CPS, incluindo a descrição das suas atividades, tarefas, papéis e artefatos; (v) O artefato detalhado *Feature Model*, (incluso no ProVarMod4CPS); (vi) O artefato detalhado Diretrizes (incluso no ProVarMod4CPS), que apoia a descrição das características do *Feature Model*; (vii) O *feature model* da LPS *Smart Street Light* para o treinamento da modelagem de características no domínio de cidades inteligentes; (viii) Uma Matriz de Instâncias para apoiar a modelagem das características utilizando a LPS *Smart Street Light* e o *Feature Model* do ProVarMod4CPS; (ix) Um *Checklist* como artefato de apoio a modelagem (não foi avaliada neste estudo); e (x) Um Questionário de Treinamento para realizar a modelagem das características na LPS *Smart Street Light*.

O segundo formulário eletrônico de avaliação está disponível no Apêndice C.6 e no link: [https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_9XfJWKhrTerT4Hk](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_9XfJWKhrTerT4Hk). Este formulário contém todos os artefatos contidos no primeiro formulário, mas difere em relação aos seguintes documentos: (i) O *feature model* da LPS *Arable Farming* é utilizado para modelagem de características no domínio da agricultura; e (ii) Um

---

<sup>33</sup> Qualtrics: <https://pucpr.qualtrics.com> ou <https://www.qualtrics.com/pt-br/>

Questionário da Avaliação deve ser respondido pelos especialistas de LPS para coletar o *feedback* sobre o ProVarMod4CPS e seus artefatos.

Todos os links dos artefatos estão contidos nos formulários eletrônicos e foram disponibilizados aos participantes desta avaliação no seguinte link: <https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9/view?usp=sharing>.

**Execução.** Os especialistas participaram do estudo individualmente com o pesquisador, disponível por meio de ferramentas de comunicação instantânea (WhatsApp) ou por meio de agendamento via e-mail para a realização de conferências virtuais (Zoom ou Google Meet) com horário combinado entre as partes. Esse cenário ajudou a mitigar um mal entendimento dos especialistas sobre o ProVarMod4CPS e seus artefatos. O pesquisador estava disponível para minimizar possíveis dúvidas durante as fases de treinamento e avaliação do estudo. Como o estudo foi conduzido de forma isolada, individual e virtual entre cada participante e o pesquisador, isso evitou a influência ou troca de informações provenientes de outros especialistas durante a condução do treinamento e do estudo.

Este estudo foi organizado e dividido em duas fases: 1ª Fase de Treinamento e 2ª Fase da Avaliação. Para garantir a execução consistente do estudo, um Roteiro Interativo (Apêndice C.2) foi criado com uma descrição detalhada dos passos associados as duas fases do estudo para facilitar a participação dos especialistas. Os passos estão relacionados com links de vídeos e formulários eletrônicos.

Dois vídeos foram gravados pelo pesquisador deste estudo com o objetivo de explicar os passos de treinamento e execução deste estudo. Um vídeo de treinamento e um vídeo sobre a avaliação foram gravados e roteirizado com passos para manter um padrão sobre a explicação de todo o estudo. Os dois vídeos têm explicações de quais tarefas os especialistas devem realizar nas fases de treinamento e avaliação. Um vídeo foi criado para a 1ª Fase de Treinamento: <https://www.youtube.com/watch?v=bB1kZ8XNZtg>. Um vídeo foi criado para a 2ª Fase da Avaliação: <https://www.youtube.com/watch?v=KEL0WRtys-I>. Em relação aos formulários, um primeiro formulário eletrônico ([https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_esyBIMAZ8pmM1My](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_esyBIMAZ8pmM1My)) foi criado (Apêndice C.5) para o treinamento dos especialistas; um segundo formulário ([https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_9XfJWKhrTerT4Hk](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_9XfJWKhrTerT4Hk)) foi criado (Apêndice C.6) para avaliação do ProVarMod4CPS e seus artefatos pelos especialistas.

**Procedimentos de participação dos especialistas.** Para a coleta de dados da 1ª fase de treinamento, foram enviados aos especialistas via e-mail um convite e o roteiro interativo em anexo. Caso o especialista aceite o convite, o pesquisador deste estudo estava à disposição para contato do especialista a fim de garantir a execução sistemática do estudo. Primeiro, o especialista deve ou não aceitar o convite. Se o convite for aceito, o especialista deverá acessar o roteiro anexado no convite do e-mail, seguir os passos do roteiro e assistir ao vídeo de treinamento no YouTube para responder o formulário eletrônico de treinamento.

Após acessar o link do primeiro formulário de treinamento, o especialista deverá aceitar o TCLE, entender o objetivo do estudo e assistir ao vídeo sobre quais tarefas devem ser realizadas em sequência. No próximo passo, o especialista preenche o Questionário de Caracterização de Perfil (Apêndice C.5). Esse questionário, contido no mesmo formulário (treinamento), é referente a coleta dos dados sobre o perfil do especialista quanto a sua formação, setor de atuação (acadêmico ou industrial), experiência na área (anos), bem como seu nível de conhecimento sobre SCF, LPS e *feature model*.

Na sequência, o especialista faz a leitura de um documento com Conceitos Básicos sobre SCF, LPS, *Feature Model*, e Modelagem de Variabilidades de SCF para compreender os principais conceitos das áreas. Após isso, o especialista faz a leitura e consulta da documentação do processo ProVarMod4CPS, incluindo a descrição das suas atividades, tarefas, papéis, artefatos e seu subprocesso. Os documentos relacionados aos artefatos *Feature Model* e Diretrizes (contidos no ProVarMod4CPS) também devem ser lidos pelo especialista.

Todos os documentos estão disponíveis para *download* neste passo do formulário de treinamento, incluindo o *feature model* da LPS *Smart Street Light* (cidades inteligentes) e uma Matriz de Instâncias, que apoiam o próximo passo referente ao treinamento da modelagem utilizando o ProVarMod4CPS. Link: <https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9/view?usp=sharing>. Após o especialista realizar a leitura e análise de todos os documentos, ele/ela deve responder ao Questionário de Treinamento. Nesse questionário, deve ser realizada três modelagens das variabilidades (características) diretamente no formulário por meio de uma matriz com configurações utilizando os artefatos do ProVarMod4CPS e a LPS *Smart Street Light*. Por fim, o especialista envia o formulário

eletrônico de treinamento respondido e o Questionário de Treinamento do ProVarMod4CPS.

Concluída a 1ª Fase de Treinamento, inicia-se a 2ª Fase da Avaliação. Nesta 2ª fase, o especialista deve continuar o estudo seguindo o roteiro. Primeiro, o especialista deve acessar o vídeo da 2ª Fase da Avaliação (<https://www.youtube.com/watch?v=KEL0WRtys-l>) e o seu formulário eletrônico da avaliação ([https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_9XfJWKhrTerT4Hk](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_9XfJWKhrTerT4Hk)). Com o vídeo e o formulário aberto, o especialista deve voltar ao roteiro e seguir os passos para responder e enviar o Questionário de Avaliação do ProVarMod4CPS.

Durante a coleta de dados, o formulário da avaliação solicita ao especialista aceitar novamente o TCLE (já condicionado a sua aceitação no formulário de treinamento). Seus dados pessoais são solicitados (já anonimizados conforme os termos do TCLE), apenas para controle e rastreabilidade do pesquisador. Após a aceitação do TCLE e dos dados pessoais, o especialista deve avançar o formulário e fazer a leitura dos objetivos do estudo em relação a esta segunda fase.

Na sequência, o especialista deve utilizar todos os documentos (já baixados na fase de treinamento) para realizar uma modelagem de características de três configurações em um outro *feature model* da LPS *Arable Farming*. A modelagem é realizada em outra LPS *Arable Farming* (agricultura) para garantir a não influência da mesma LPS *Smart Street Light* (cidade inteligentes) no entendimento do especialista sobre o ProVarMod4CPS e seus artefatos, mesmo em domínios diferentes. Após a modelagem das características e suas variabilidades, o especialista deve avançar no formulário do estudo e responder as questões do Questionário de Avaliação sobre o ProVarMod4CPS e seus artefatos. Por fim, o especialista envia o formulário eletrônico de avaliação e o Questionário de Avaliação com todas as respostas referente ao seu feedback sobre o ProVarMod4CPS e seus artefatos.

**Questionário de avaliação.** As questões foram respondidas por seis especialistas. Esse Questionário de Avaliação (Apêndice C.6) possui 29 questões, sendo 13 questões fechadas (múltipla escolha) e 16 questões abertas sobre o entendimento, projeto e modelagem do ProVarMod4CPS e seus artefatos.

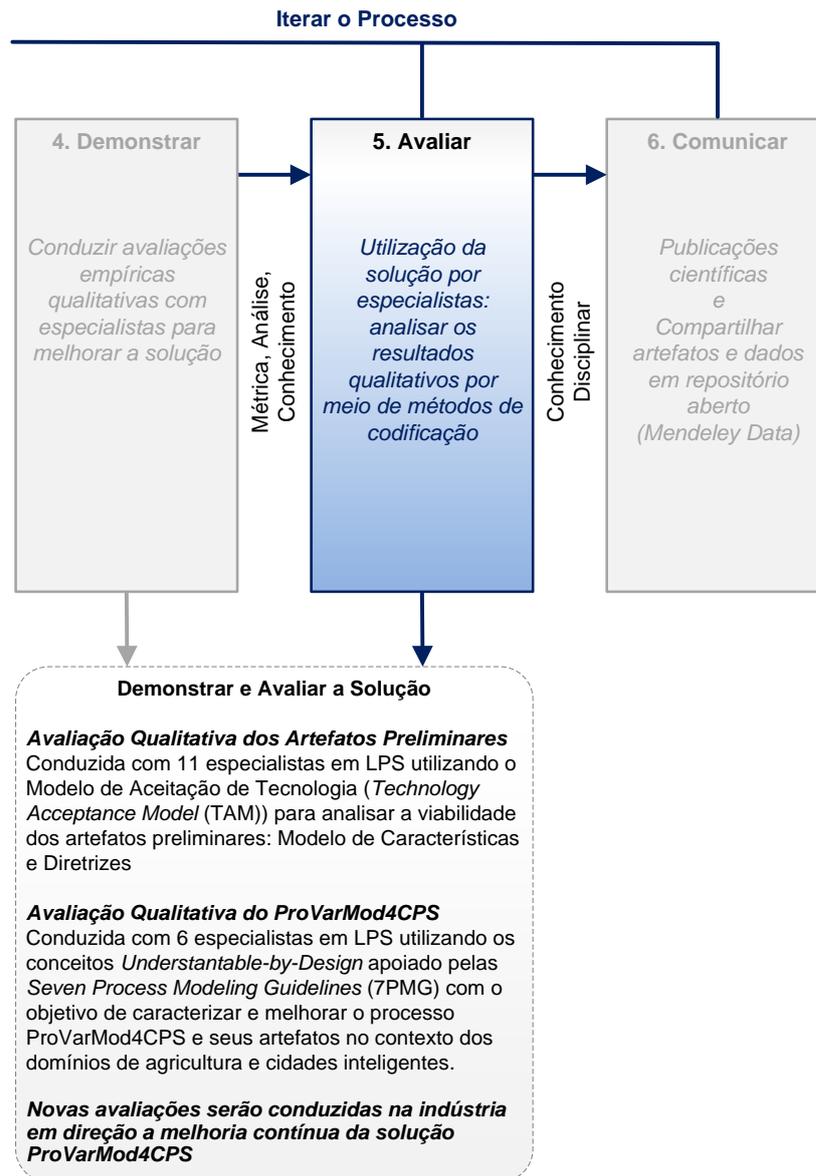
As questões abertas possibilitaram aos especialistas descreverem os aspectos positivos, negativos, sugestões e recomendações em relação ao projeto e desenvolvimento do ProVarMod4CPS e seus artefatos. Todas as questões estão disponíveis nos Apêndices C.5 e C.6.

**Análise e Interpretação.** Conforme a DSR, a atividade Avaliação (Seção 4.3.5.2) apresenta os resultados da avaliação do ProVarMod4CPS e seus artefatos.

#### **4.3.5 Avaliar**

Esta quinta atividade na DSR permite "*observar e medir quão bem o artefato suporta/apoia uma solução para o problema*" (PEFFERS *et al.*, 2007). Para realizar qualquer tipo de observação, medição ou análise, os resultados dos dois estudos empíricos qualitativos foram obtidos a partir das respostas dos especialistas durante a quarta atividade (Demonstrar). A partir da atividade anterior, esta quinta atividade apresenta como os resultados obtidos nos estudos foram analisados e interpretados, bem como quais métodos foram utilizados para avaliar a solução desta tese (ProVarMod4CPS e seus artefatos).

A Figura 31 ilustra a quinta atividade na DSR.



**Figura 31. Quinta Atividade - 5. Avaliar.**

As próximas seções 4.3.5.1 e 4.3.5.2 descrevem como os resultados foram analisados e interpretados nos dois estudos conduzidos.

#### 4.3.5.1 Avaliar a viabilidade dos artefatos preliminares: análise e interpretação dos resultados

Nesta avaliação de viabilidade, o método TAM foi utilizado para mapear as respostas dos especialistas em relação aos artefatos Diretrizes e *Feature Model*. O TAM permite listar as intervenções dos especialistas no que diz respeito a avaliação da aceitação de utilização de uma tecnologia específica (MARANGUNIĆ e GRANIĆ, 2015) (VENKATESH e BALA, 2008). Neste caso, a aceitação do usuário em relação

a viabilidade de utilização dos artefatos Diretrizes e *Feature Model*. Para isso, na fase de **execução** ou **operação** deste estudo foram coletadas respostas dos especialistas sobre a aceitação desses artefatos.

Antes de iniciar o processo de análise das respostas, o primeiro passo é tabular e organizar todas as respostas coletadas dos especialistas. As respostas foram recebidas por meio de um formulário eletrônico criado no Google Forms, para então, convertê-lo para documentos no Microsoft Word<sup>34</sup>. Para cada uma das respostas dos especialistas foi criado um documento no Word. Os documentos foram importados na ferramenta ATLAS.ti<sup>35</sup>, utilizada para apoiar a organização do processo de análise e codificação das respostas. É importante mencionar que tal ferramenta auxilia os pesquisadores na codificação dos dados, mas não faz a interpretação dos resultados automaticamente. Com o conjunto de resultados organizados no ATLAS.ti, iniciou-se a codificação das respostas dos especialistas por meio de diferentes métodos de codificação e tipos de questões (múltipla escolha ou fechadas e abertas).

A Codificação Magnitude (SALDAÑA, 2013) foi escolhida para analisar as respostas obtidas em 3 questões de múltipla escolha com 7 alternativas cada, no projeto piloto com especialistas. A Codificação Magnitude também foi utilizada em 5 alternativas na avaliação com especialistas, conforme apresentado no Apêndice B.4, referente ao Questionário de Avaliação.

A Codificação Magnitude foi aplicada em todas as respostas fornecidas pelos especialistas nas questões de múltipla escolha baseadas nas dimensões do TAM. Cada questão de múltipla escolha utiliza a escala de *Likert* (LIKERT, 1932) com 5 alternativas, que foram codificadas e avaliadas quantitativamente conforme sua intensidade: Discordo Totalmente, Discordo Parcialmente, Eu não Discordo e Eu não Aceito, Aceito Parcialmente, Aceito Totalmente.

A partir da escala, o teste de confiabilidade *Cronbach's Alpha* (CRONBACH, 1951) foi executado para avaliar a consistência interna da escala em conjunto com as questões de múltipla-escolha baseadas no TAM. O teste foi executado em dois grupos isolados de participantes. O primeiro grupo de três especialistas (N = 3) é referente ao projeto de piloto deste estudo. O segundo grupo possui oito especialistas (N = 8) que participaram efetivamente no estudo. O teste de confiabilidade *Cronbach's Alpha* é válido quando  $\alpha \geq 0,8$ . Ambas as amostras calculadas, para N = 3 ( $\alpha = 0,83$ ) e N = 8

---

<sup>34</sup> Microsoft Word: <https://products.office.com/>

<sup>35</sup> ATLAS.ti: <https://atlasti.com/>

( $\alpha = 0,89$ ), indicaram que as questões de múltipla-escolha e suas respostas são válidas em relação a consistência interna da escala utilizada no estudo. Os resultados do teste são apresentados no CAPÍTULO 6.

O próximo passo desta avaliação é referente a análise e interpretação das respostas de cada participante ao responderem as 5 questões abertas (qualitativas). Primeiro, é apresentada como a Codificação Provisória é adotada para a análise das respostas dessas questões abertas.

A Codificação Provisória (SALDAÑA, 2013) foi escolhida pelo motivo de permitir analisar, por meio de investigações, todas as respostas dos especialistas em relação a facilidade, utilidade e intenção de uso futuro das diretrizes e do *feature model* para a modelagem de variabilidades em SCF.

A Codificação Provisória permite a investigação exploratória das respostas por meio de uma lista inicial de códigos criada para esta avaliação (SALDAÑA, 2013). Tal lista contém códigos pré-estabelecidos sob a percepção do TAM para avaliar os artefatos preliminares diretrizes e *feature model*. Portanto, os seguintes códigos foram inicialmente definidos: Facilidade de Uso, Utilidade e Intenção de Uso Futuro – relacionados com o TAM; Recomendações; Limitações; e Sugestões.

Um ou vários desses códigos são associados a possíveis trechos de texto ou citações (*quotations*) identificados(as) com base nas respostas dos especialistas. Esses trechos de texto garantem a rastreabilidade de evidências para esta avaliação qualitativa (SALDAÑA, 2013). Com o uso destes trechos de texto é possível refinar tais códigos e representá-los associados graficamente por meio do recurso de Redes (*Networks* ou Representações Gráficas) disponível no ATLAS.ti.

Um trecho de texto é representado em uma rede no ATLAS.ti por meio do seguinte ícone e formato:  N°. do Participante/Documento: N° do Trecho de Texto. Os trechos de texto foram sintetizados, renomeados e mantidos na íntegra com o objetivo de manter a consistência e rastreabilidade das respostas dos especialistas. Os trechos são apresentados e discutidos como resultados no CAPÍTULO 6.

Os códigos ou subcódigos são representados utilizando um ícone e seu respectivo nome:  Nome do Código. Segundo Saldaña (2013) a representação em redes ajuda o pesquisador a observar, cruzar e interpretar os resultados obtidos na análise qualitativa de forma prática.

Os trechos de texto, os códigos e os subcódigos em relação ao TAM, são representados em redes com o objetivo de mostrar caminhos para aprimorar os

artefatos Diretrizes e o *Feature Model*. As análises e as redes foram isoladas conforme os resultados no processo de codificação do projeto piloto e da avaliação com especialistas. Os resultados obtidos nesta avaliação são apresentados no CAPÍTULO 6.

#### 4.3.5.2 Avaliar o processo ProVarMod4CPS e seus artefatos: análise e interpretação dos resultados

Neta avaliação, os métodos de avaliação de processos 7PMG e *Understandable-by-design* (MENDLING *et al.*, 2010; REIJERS *et al.*, 2010) foram utilizados para avaliar as respostas dos especialistas em relação a compreensão do ProVarMod4CPS. Para isso, na fase de **execução** ou **operação** desta avaliação foram coletadas respostas dos especialistas sobre o ProVarMod4CPS.

O primeiro passo foi tabular e organizar todas as respostas coletadas dos especialistas. As respostas foram recebidas por meio de dois formulários eletrônicos criados no Qualtrics, para então, convertê-los em planilhas do Excel<sup>36</sup>. As respostas de cada especialista foram importadas e distribuídas em documentos isolados internamente na ferramenta ATLAS.ti<sup>37</sup>. A ferramenta foi utilizada para apoiar a organização do processo de análise e codificação das respostas, a análise não é realizada automaticamente. Com os resultados organizados no ATLAS.ti, iniciou-se a **análise** e codificação das respostas dos especialistas por meio de diferentes métodos de codificação e tipos de questões (múltipla escolha ou fechadas e abertas).

A Codificação Magnitude (SALDAÑA, 2013) foi escolhida para analisar as respostas obtidas em 8 questões de múltipla escolha (7 subquestões da Questão Q28 e Questão Q29) com 4 alternativas cada, conforme o Questionário de Avaliação no Apêndice C.6. A Codificação Magnitude foi considerada para as respostas fornecidas pelos especialistas nas questões de múltipla escolha baseadas nos métodos de avaliação de processos 7PMG e *Understandable-by-design*. Cada questão de múltipla escolha utiliza a escala de *Likert* (LIKERT, 1932) com 4 alternativas, as quais foram codificadas e avaliadas quantitativamente conforme sua intensidade: Nada compreensível, Pouco compreensível, Muito compreensível e Extremamente compreensível.

---

<sup>36</sup> Microsoft Excel: <https://products.office.com/>

<sup>37</sup> ATLAS.ti: <https://atlasti.com/>

A partir da escala, o teste de confiabilidade *Cronbach's Alpha* (CRONBACH, 1951) foi executado para avaliar a consistência interna da escala em conjunto com as questões de múltipla-escolha. O teste foi executado com seis especialistas (N = 6) que participaram da avaliação. O teste de confiabilidade *Cronbach's Alpha* é válido quando  $\alpha \geq 0,8$ . Para N = 6, o alpha calculado foi  $\alpha = 0,91$ , indicando que as questões de múltipla-escolha e suas respostas são válidas em relação a consistência interna da escala utilizada no estudo. Os resultados do teste são apresentados CAPÍTULO 7.

O próximo passo desta avaliação é referente a análise e interpretação das respostas dos participantes que responderam as questões abertas (qualitativas) (Apêndice C.6). Como na primeira avaliação de viabilidade desta pesquisa (CAPÍTULO 6), esta avaliação utilizou também a Codificação Provisória para a análise das respostas das questões abertas.

A Codificação Provisória permite a investigação exploratória das respostas por meio de uma lista inicial de códigos criada para esta avaliação (SALDAÑA, 2013). Tal lista contém códigos pré-estabelecidos sob possíveis recomendações, sugestões e elementos do ProVarMod4CPS (tarefas e seus artefatos) para avaliá-lo. Portanto, os seguintes códigos foram inicialmente definidos: Recomendações de Melhoria, Sugestões de Características, Exemplos de Implementação e Tarefas do Subprocesso – ProVarMod4CPS.

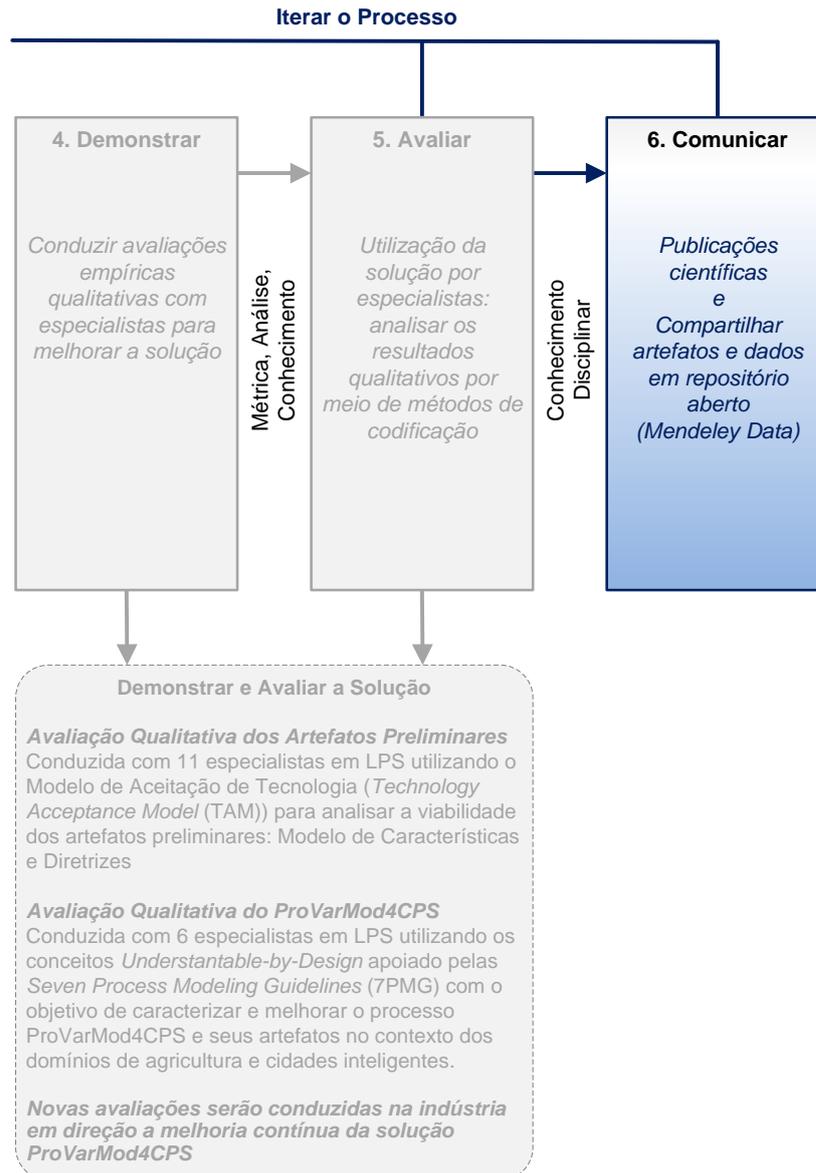
Um ou vários desses códigos são associados com trechos de texto (*quotations*) identificados com base nas respostas dos especialistas. Esses trechos de texto garantem a rastreabilidade de indícios para esta avaliação qualitativa (SALDAÑA, 2013). A Codificação In Vivo foi aplicada nesta avaliação para identificar trechos de texto dos especialistas que poderiam ser mapeados diretamente como códigos (SALDAÑA, 2013). Com a utilização dos trechos de texto como códigos, refinados durante a análise, tais códigos são representados e associados graficamente utilizando o recurso de Redes (*Networks*), disponível no ATLAS.ti. Os códigos são representados em redes com o objetivo de mostrar caminhos para melhorar o ProVarMod4CPS e seus artefatos (CAPÍTULO 7). Os resultados desta avaliação são apresentados e discutidos no CAPÍTULO 7.

#### **4.3.6 Comunicar**

Esta sexta atividade é referente a comunicação dos resultados obtidos e as descobertas desta pesquisa. A comunicação foi realizada por meio da publicação de

trabalhos científicos; compartilhamento da solução projetada e desenvolvida (ProVarMod4CPS e seus artefatos); e os dados dos estudos empíricos serão disponibilizados em repositórios abertos (*Mendeley Data*), seguindo os princípios da ciência aberta (*open science*).

A Figura 32 representa esta última atividade na DSR.



**Figura 32. Sexta Atividade - 6. Comunicar.**

Uma RSL entre IoT e LPS foi publicada no *Journal Information and Software Technology* para compreender o estado de arte e guiar o posicionamento desta pesquisa em direção a um tipo específico de sistema IoT, neste caso, SCF.

- GERALDI, R. T.; REINEHR, S.; MALUCELLI, A. Software product line applied to the internet of things: A systematic literature review. *ELSEVIER Information and Software Technology*, v. 124, p. 106293, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106293>.

Um segundo artigo está em vias de submissão (2º semestre/2022) para o *Journal Information and Software Technology*:

- GERALDI, R. T.; REINEHR, S.; OLIVEIRAJR, E.; MALUCELLI, A. Towards a proactive variability modeling process for cyber-physical systems supported by modern product line engineering. *ELSEVIER Information and Software Technology*, v. ###, p. #####, 2022. DOI: <https://doi.org/##.####>.

#### 4.4 Considerações sobre o capítulo

Este capítulo apresentou a estruturação desta pesquisa em relação aos métodos de pesquisa adotados, os quais foram apoiados por atividades da DSR para caracterizar o rigor científico, as iterações e o desenvolvimento sistemático desta pesquisa. As atividades da DSR foram detalhadas como uma estratégia de pesquisa para planejar e garantir a execução correta desta pesquisa.

Os resultados obtidos são apresentados em detalhes nos próximos capítulos. Os resultados no âmbito desta pesquisa englobam a apresentação do processo ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 5), uma avaliação de viabilidade (CAPÍTULO 6) e uma avaliação referente ao processo ProVarMod4CPS e seus artefatos (CAPÍTULO 7).

## CAPÍTULO 5 - PROCESSO PARA MODELAGEM DE VARIABILIDADES DE SISTEMAS CIBER-FÍSICOS

Este capítulo apresenta o processo e os artefatos desenvolvidos nesta pesquisa com base na realização das atividades da DSR (CAPÍTULO 4). O processo é a solução principal implementada, chamada de Processo Proativo de Modelagem de Variabilidades para Sistemas Ciber-Físicos, em inglês, ***Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems: ProVarMod4CPS.***

As próximas seções caracterizam e detalham o ProVarMod4CPS e seus artefatos para modelagem das principais características de SCF. Originalmente, os artefatos foram especificados em inglês para facilitar a internacionalização e transferência tecnológica desta pesquisa. O Apêndice A complementa a apresentação do ProVarMod4CPS e sua aplicação prática com exemplos no domínio da agricultura.

### 5.1 Caracterização do ProVarMod4CPS

O processo ProVarMod4CPS visa auxiliar e guiar pesquisadores e profissionais na modelagem sistemática de variabilidades com base na classificação baseada nas principais características de SCF.

Considerando a discussão dos trabalhos relacionados discutidos e comparados com o ProVarMod4CPS no CAPÍTULO 3, nenhum estudo propõe um processo que contenha um conjunto de diretrizes com recomendações de modelagem sistematizadas alinhadas com uma classificação baseada em características para diferentes domínios de SCF, por exemplo, na agricultura. O ProVarMod4CPS pode ser aplicado além da agricultura, como em cidades inteligentes.

O domínio da agricultura foi utilizado com o principal domínio por causa das dificuldades enfrentadas em diferentes culturas agrícolas (principalmente no Brasil) e para exemplificar a aplicação dos artefatos. Além disso, a carência de tecnologias neste domínio no Brasil e a ausência de estudos científicos aplicados são justificativas relevantes que levaram ao desenvolvimento desta pesquisa.

O ProVarMod4CPS possibilita resolver problemas no projeto e considera características de qualidade de SCF em modelos de variabilidades heterogêneos para

ajudar e guiar na modelagem das principais características de SCF na engenharia do domínio. Como um dos benefícios primários, o ProVarMod4CPS propicia o entendimento das características por meio de uma classificação das principais características de SCF e ajuda na compreensão do domínio. Por exemplo, no domínio da agricultura ou cidades inteligentes.

A classificação organiza as principais características de SCF em um artefato de *Feature Model* para ajudar a modelar as Variabilidades Técnicas (VT) (*Technical Variabilities* (TV)) e Variabilidades Organizacionais (VO) (*Organizational Variabilities* (OV)) de SCF como características (*features*). A Figura 33 (adaptada da Figura 16 - CAPÍTULO 2 - Subseção 2.2.1.1.5), ilustra os tipos de variabilidades associados as VTs (TVs) e VOs (OVs), as quais abrangem o projeto e desenvolvimento do ProVarMod4CPS.

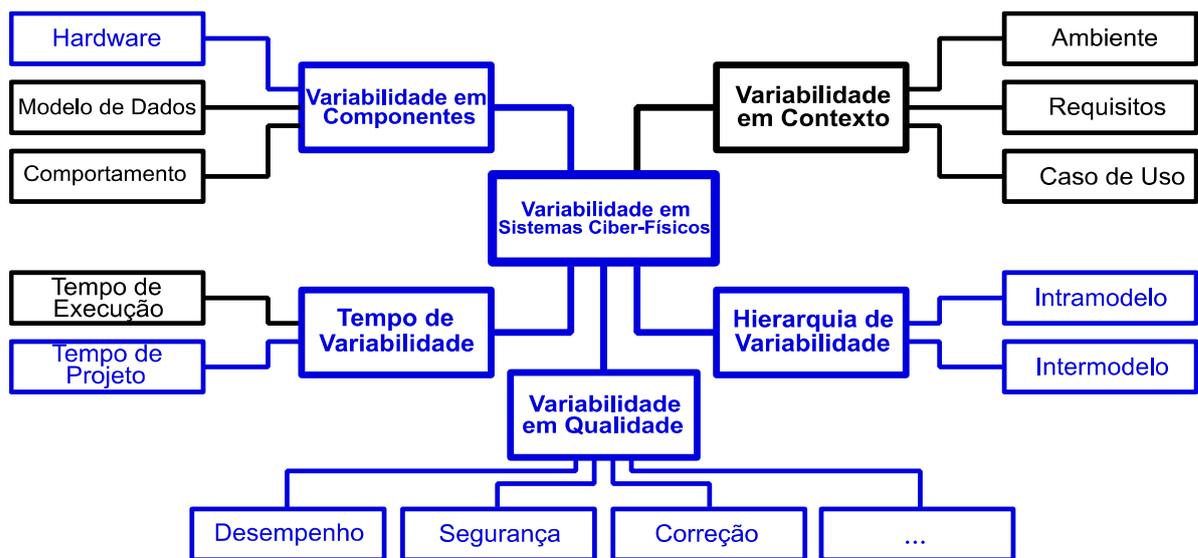
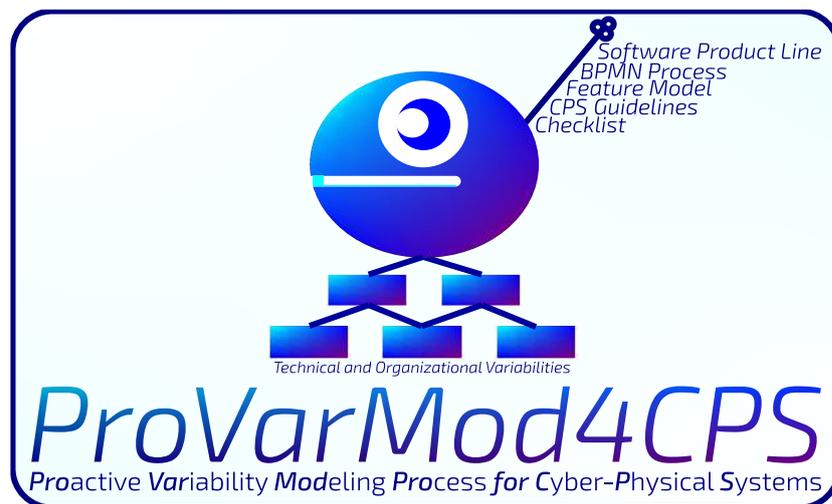


Figura 33. Tipos de variabilidades em SCF. Adaptada de Krüger *et al.* (2017).

Observando a Figura 33, no aspecto de **Tempo de Variabilidade**, a modelagem em Tempo de Projeto (*Design Time*) é o principal aspecto de variabilidade aplicado durante a modelagem das principais características de SCF do ProVarMod4CPS e artefatos desenvolvidos. A modelagem é apoiada pelo aspecto de **Variabilidade em Qualidade**, que abrange requisitos não funcionais como características (*features*) (por exemplo, Desempenho, Segurança, Heterogeneidade, Interoperabilidade, entre outros), representados em um *Feature Model* (📄 Artefato) como TVs e OVs no ProVarMod4CPS.

Os componentes da parte física de SCF estão contidos no aspecto **Variabilidade em Componentes**, o qual consiste na modelagem em nível de *Hardware* (por exemplo, sensores e atuadores) considerando as TVs. A **Hierarquia de Variabilidade** em níveis de Intramodelo e Intermodelo é considerada durante a modelagem de SCF por meio das TVs e OV de SCF.

Essas variabilidades foram classificadas como TVs e OVs e são detalhadas nos artefatos chamados de  *ProVarMod4CPS - Feature Model* e  *Guidelines*. O ProVarMod4CPS contém esses artefatos e um artefato de  *Checklist* para guiar as TVs ou OVs na engenharia de domínio. O processo primário do ProVarMod4CPS é representado e especificado utilizando BPMN. A Figura 34 introduz o logotipo do ProVarMod4CPS para destacar seu projeto e seus artefatos principais.



**Figura 34. Logotipo do ProVarMod4CPS e seus artefatos (antena do robô).**

A Figura 35 representa o processo primário do ProVarMod4CPS por meio da BPMN (OMG, 2014). A ferramenta Bizagi Modeler (BIZAGI, 2020) foi utilizada para modelar o processo e subprocesso do ProVarMod4CPS por garantir a representação gráfica oficial da BPMN, padronizada pela OMG (2014).

Observando a Figura 35, os elementos do ProVarMod4CPS são detalhados nos próximos parágrafos.

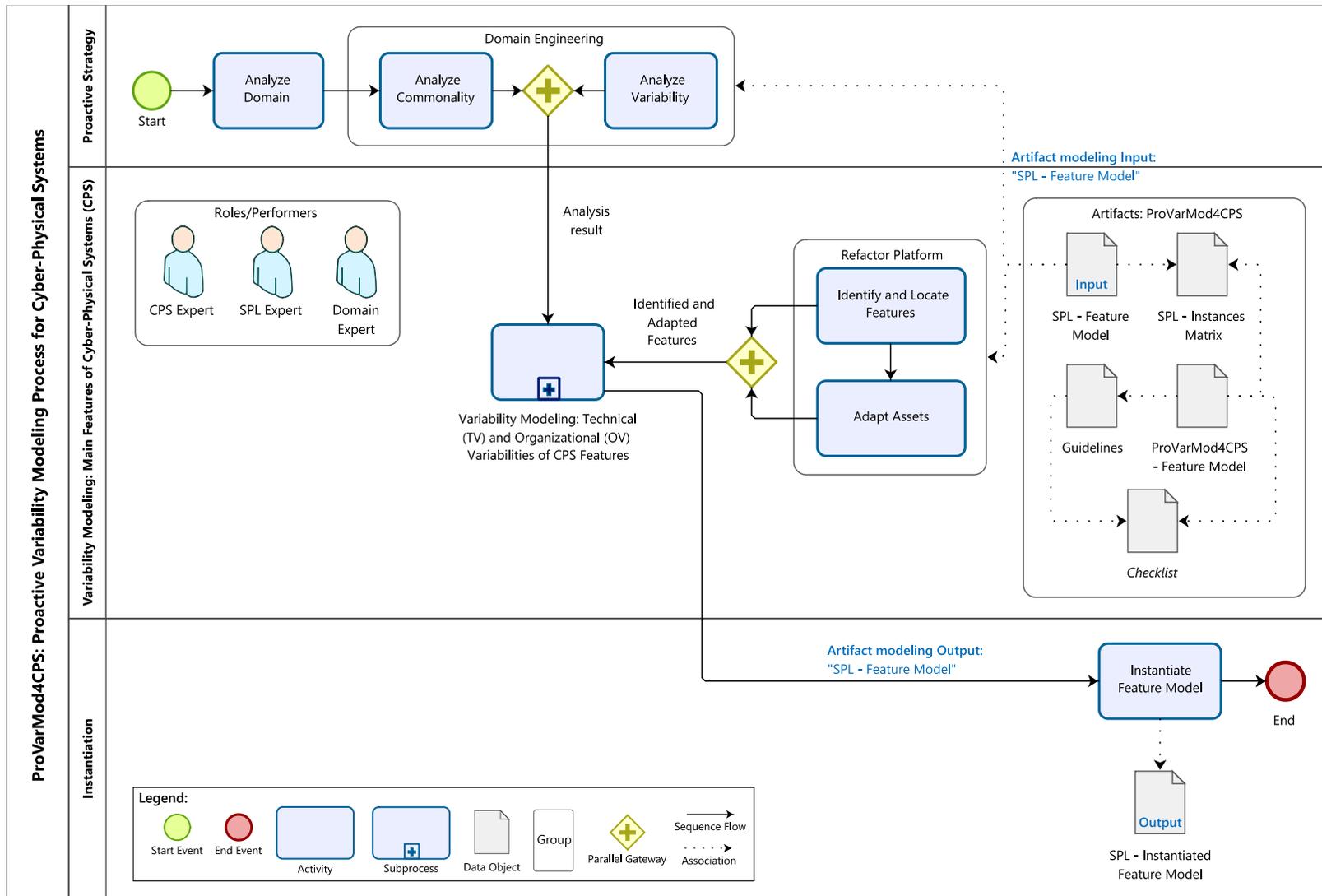


Figura 35. ProVarMod4CPS - Processo Primário.

O ProVarMod4CPS direciona a modelagem sistemática de variabilidades de SCF por meio de:  Artefatos (*Artifacts*),  Papéis (*Roles*),  Atividades (*Activities*),   Tarefas ( **Manual Tasks** e  **User Tasks**) e seu  Subprocesso **Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational Variabilities (OV) of CPS Features**.

 *Artifacts* (ícone “ Data Object” - Figura 35). O ProVarMod4CPS tem três artefatos primários:  *Guidelines*, diferentes instâncias de  *Feature Model* (*ProVarMod4CPS – Feature Model*, *SPL – Feature Model*, *SPL – Instantiated Feature Model*, e *SPL – Instances Matrix*) e uma  *Checklist*. Os artefatos englobam  *Roles* que utilizam o ProVarMod4CPS para modelar as principais características de SCF.

 *Roles*. Define quais especialistas interagem com os artefatos. Os  *Roles* são interdisciplinares e incluem especialistas em LPS, SCF e de domínio (por exemplo, agrônomos ou engenheiros).

 *Activities*. São distribuídas em três raias (BPM *lanes*) com base na definição da OMG (2014) de BPM *lane* como uma “subpartição dentro de um processo”. As três BPM *lanes* são denominadas como: **Proactive Strategy**, **Variability Modeling: Main Features of Cyber-Physical Systems (CPS)** e **Instantiation**.

**Proactive Strategy**. Esta *lane* é baseada na Estratégia de Adoção Proativa da ISO/IEC (2018) e na Promote-pl (KRÜGER *et al.*, 2020) como uma atualização moderna do *framework* de engenharia de LPS de Pohl *et al.* (2005) e Pohl e Metzger (2018). A modelagem ocorre na estratégia proativa na engenharia de domínio, definida como um “ciclo de vida que consiste de um conjunto de processos para especificar e gerenciar a similaridade e a variabilidade de uma linha de produtos” (ISO/IEC, 2015). A estratégia proativa é definida pela ISO/IEC (2018) como uma “abordagem de desenvolvimento de uma linha de produtos inovadora ou variações de produtos com base em previsões organizacionais que antecipam uma necessidade de produto declarada”.

As *Activities* da **Proactive Strategy lane**, são definidas a seguir:

- A primeira atividade, chamada  **Analyze Domain**, envolve as atividades  **Analyze Commonality** e  **Analyze Variability** no domínio de LPS e segue a definição da ISO/IEC (2019): “escopo distinto, dentro do qual características comuns e variáveis são exibidas, regras comuns e mecanismos de vinculação (*binding*) são observados, no qual

uma transparência de distribuição é preservada”. A vinculação (*binding*) significa:

“Uma tarefa para tomar uma decisão sobre variantes relevantes, que serão ativos de aplicação, a partir de ativos de domínio utilizando o modelo de variabilidade de domínio a partir de ativos da aplicação utilizando o modelo de variabilidade de aplicação (ISO/IEC, 2019).”

- A atividade  **Analyze Commonality** recebe como entrada (*input*) o artefato  *SPL - Feature Model* para analisar as características funcionais ou não-funcionais comuns e compartilhadas com a LPS do SCF, seguindo a ISO/IEC (2019).
- A atividade  **Analyze Variability** utiliza também como entrada (*input*) o artefato  *SPL – Feature Model* para analisar as características funcionais ou não-funcionais das variabilidades em LPS de SCF conforme a ISO/IEC (2019).
- A mensagem  *Analysis result* é a saída de uma porta de entrada paralela (*parallel gateway*) que recebe duas entradas paralelas das atividades  **Analyze Commonality** e  **Analyze Variability**. O resultado são características modeladas a partir da entrada (*input*) do artefato  *SPL – Feature Model* (apoiado pela  *SPL – Instances Matrix*). Essas atividades são realizadas pelos  *Roles*: Especialista em SCF, LPS e em Domínio.
- A realização das atividades  **Analyze Commonality** e  **Analyze Variability** são paralelas e essenciais como resposta para o Subprocesso do ProVarMod4CPS:  **Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational Variabilities (OV) of CPS Features** (detalhado na Seção 5.1.1).

É importante destacar que não há uma definição explícita para adaptação à modelagem de variabilidades na ISO/IEC para SCF. A modelagem de características comuns e variáveis é baseada na definição de modelagem de variabilidade da ISO/IEC (2017), considerando somente a engenharia de domínio:

“Modelagem de variabilidade significa a operação para criar, manter e suportar modelos de variabilidade utilizando a variabilidade em conjunto com informações relevantes à variabilidade definidas desde o gerenciamento do produto, engenharia de domínio até a engenharia de aplicação da ISO/IEC 26550.”

O ProVarMod4CPS define as variabilidades sistematicamente das principais características SCF por meio do subprocesso na *lane*: **Variability Modeling: Main Features of Cyber-Physical Systems (CPS)**.

**Variability Modeling: Main Features of Cyber-Physical Systems (CPS).**

Esta *lane* contém um subprocesso essencial para guiar a modelagem (ícone “ Subprocess” na Figura 35), denominado  **Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational Variabilities (OV) of CPS Features**. A partir da saída  *Analysis result* da **Proactive Strategy lane**, nove tarefas são realizadas internamente neste subprocesso. As tarefas inclusas no subprocesso guiam a modelagem das TVs e OVs das principais características de SCF. As tarefas são detalhadas na seção 5.1.1.

De maneira paralela, as atividades chamadas  **Identify and Locate Features** e  **Adapt Assets** agem no sentido de refatorar a plataforma, como estabelecido na ISO/IEC (2017):

“A plataforma deve incluir a implementação adequada de pontos de variação que permitam a vinculação de variabilidade. Os pontos de variação de um modelo de variabilidade devem ter links com essas partes de plataforma.”

O ProVarMod4CPS não faz modelagem de pontos de variação, mas a modelagem dos relacionamentos de características pai e filha na entrada (*input*) do artefato  *SPL - Feature Model*. Assim, a vinculação das variabilidades das características abrange o "modelo de variabilidade que deve ser concebido para fornecer informações detalhadas necessárias para a vinculação correta". A tabela de decisão ou anotação pode ser uma forma de resolver isto" (ISO/IEC, 2017). O artefato  *SPL – Instances Matrix* permite vincular as variabilidades de características por meio de uma matriz para a modelagem das variabilidades do  *SPL – Feature Model*.

As atividades  **Identify and Locate Features** e  **Adapt Assets** são definidas a seguir:

-  **Identify and Locate Features** recebe como entrada (*input*) o artefato  *SPL – Feature Model* para a identificação de características, podendo ser apoiado pelo artefato  *SPL – Instances Matrix*. A saída (*output*) da modelagem é enviada para o *gateway*  **Identified and Adapted Features** com a finalidade de disponibilizar a modelagem.
-  **Adapt Assets** recebe as características identificadas para realizar adaptações de características (caso seja necessário). As saídas são enviadas ao subprocesso para melhoria contínua durante a modelagem.

**Instantiation.** Ao final do processo, o  *SPL – Feature Model* é instanciado como saída (*output*) após as tarefas de modelagem realizadas pelos  *Roles*, utilizando o  Subprocesso do ProVarMod4CPS (Seção 5.1.1). A atividade chamada  **Instantiate Feature Model** recebe o  *SPL – Feature Model* como entrada (*input*) com a modelagem das características melhorada. Assim, a instanciação é a saída do  *SPL – Instantiated Feature Model* após a realização de todas as atividades e tarefas de modelagem incluídas no ProVarMod4CPS. O processo pode ser realizado e/ou executado várias vezes para a melhoria do  *SPL – Feature Model*.

Após o entendimento do funcionamento do ProVarMod4CPS, é fundamental estabelecer o posicionamento do processo na engenharia moderna de LPS (KRÜGER *et al.*, 2020). Isso garante a compreensão e utilização no contexto adequado durante a modelagem de sistemática de variabilidades de SCF.

Observando a Figura 36, o modelo de processo da engenharia moderna de LPS por Krüger *et al.* (2020) (Promote-pl), fornece as atividades associadas à engenharia de domínio do ProVarMod4CPS. O grupo de atividades **Domain Engineering** possui as atividades de  **Analyze Domain**,  **Analyze Commonality** e  **Analyze Variability**. Um outro grupo essencial é o **Refactor Platform**, no qual tem duas atividades  **Identify and Locate Features** e  **Adapt Assets**.

Ainda na Figura 36, o  Subprocesso do ProVarMod4CPS, denominado **Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS Features**, está associado com o **Modelo de Variabilidade de Domínio** no *framework* de engenharia de LPS de Pohl e Metzger (2018). Assim, o ProVarMod4CPS e seus artefatos são posicionados na engenharia de domínio considerando a modelagem sistemática de variabilidades de SCF por meio da **Estratégia Proativa** de Krüger *et al.* (2020) (Promote-pl).

A originalidade do processo desenvolvido nesta pesquisa está na criação e adaptação da engenharia moderna de LPS para a modelagem sistemática de novos sistemas, neste caso, SCF. O  Subprocesso do ProVarMod4CPS tem várias tarefas e artefatos novas(os) e originais para guiar tal modelagem. A subseção 5.1.1 apresenta em detalhes o  Subprocesso do ProVarMod4CPS.

As seções 5.2, 5.3 e 5.4 detalham os  artefatos do ProVarMod4CPS.

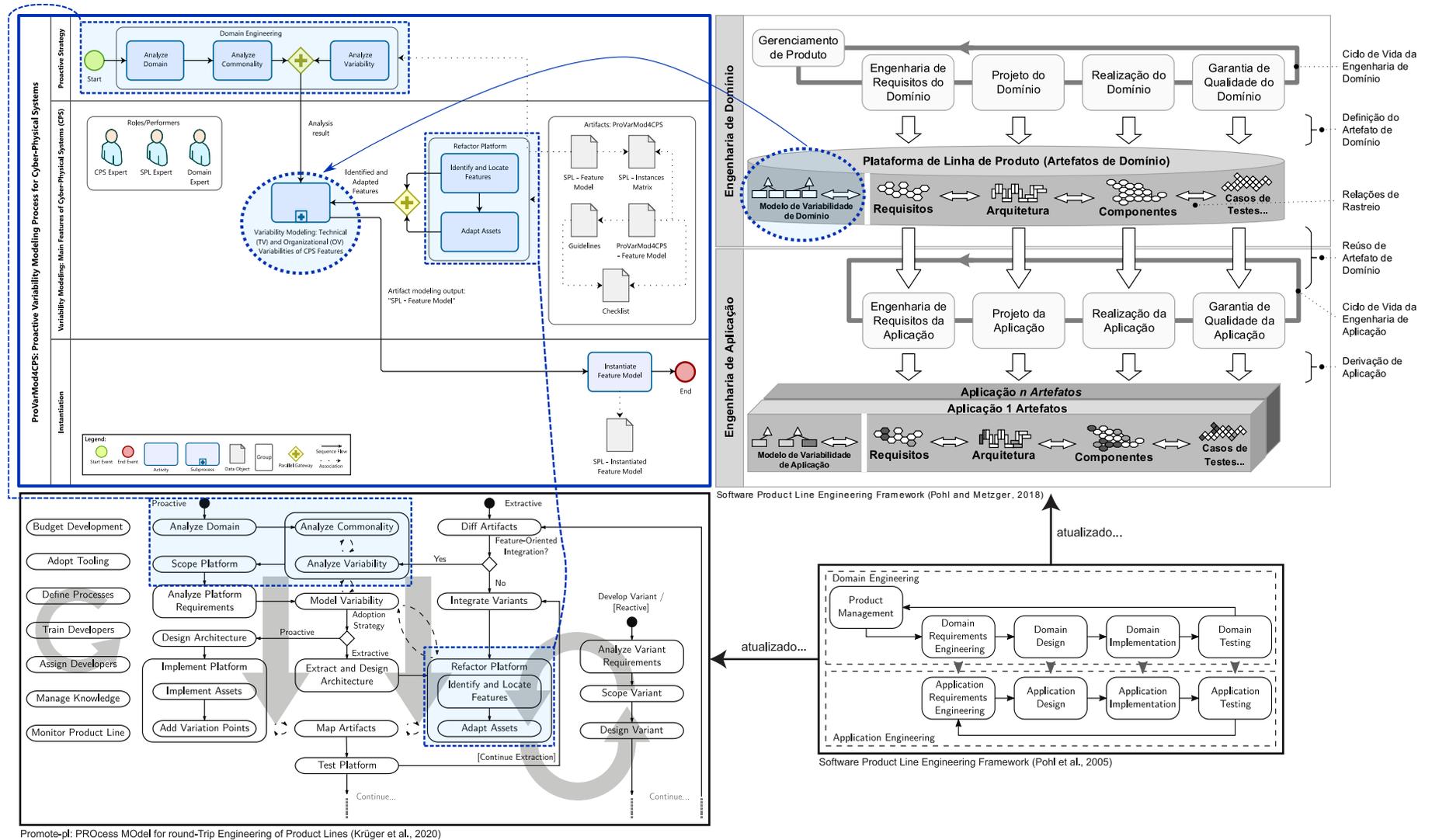


Figura 36. Associação do ProVarMod4CPS com o Modelo de Variabilidade de Domínio na engenharia de LPS de Pohl et al. (2005), bem como a relação com o modelo de processo da engenharia moderna de LPS por Krüger et al. (2020) (Promote-pl).

### 5.1.1 Subprocesso: Modelagem de Variabilidades de Características de SCF

Um dos principais benefícios significativos do subprocesso contido no ProVarMod4CPS, denominado  **Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational Variabilities (OV) of CPS Features**, é a modelagem das variabilidades das principais características de SCF por meio dos artefatos:  *Feature Model*,  *Guidelines* e  *Checklist*.

Os artefatos são utilizados durante a realização de várias tarefas. Essas tarefas sistematizam a modelagem de variabilidades durante o projeto do modelo de variabilidade de domínio. O  Subprocesso (Figura 37) possui dois tipos de tarefas: Tarefa Manual ( **Manual Task**) e Tarefa Usuário ( **User Task**).

Conforme estabelecido na especificação da BPMN v2.0.2 pela OMG (2014), a  **Manual Task** “é uma tarefa que se espera que seja realizada sem a ajuda de qualquer mecanismo de execução de processo de negócio ou qualquer aplicação” (OMG, 2014). A  **User Task** “é uma tarefa típica de fluxo de trabalho (“*workflow*”), na qual um humano realiza a tarefa com a assistência de uma aplicação de software” (OMG, 2014).

A  FeatureIDE é o ferramental de apoio selecionado para auxiliar na realização das  **User Tasks**. Essas tarefas estão relacionadas à consulta do artefato  *ProVarMod4CPS - Feature Model* e na modelagem do artefato  *SPL - Feature Model*. Todos  *Roles* podem interagir com as  **Manual Tasks** e  **User Tasks**.

A Figura 37 representa os artefatos associados as tarefas do subprocesso. As tarefas são detalhadas a seguir.

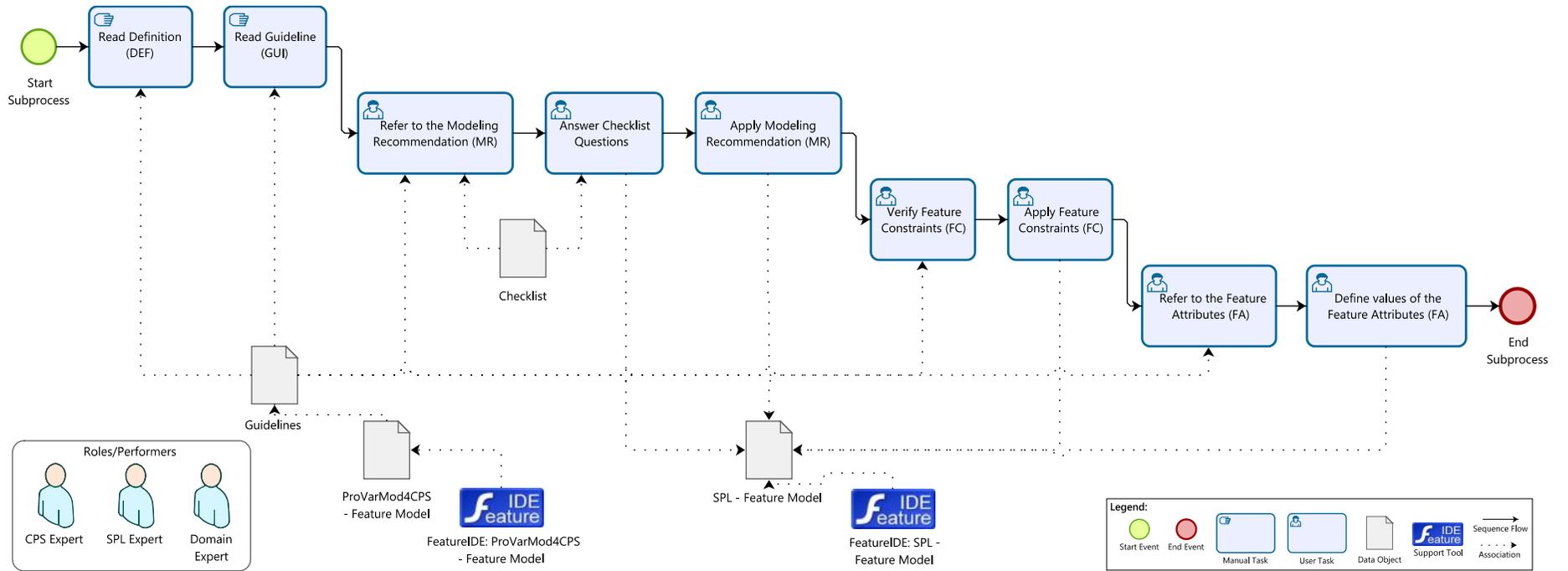


Figura 37. Subprocesso ProVarMod4CPS - Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational Variabilities (OV) of CPS Features.

As seguintes tarefas (*tasks*) estão inclusas no subprocesso:

1.  **Read Definition (DEF).** É a primeira atividade que deve ser utilizada para ler e entender a *Definition* (DEF) das TVs e OV's do artefato  *Guidelines*.
2.  **Read Guideline (GUI).** É a segunda atividade para ler e consultar uma ou várias diretrizes com base nas DEFs. O artefato  *Guidelines* possui um ou mais DEFs inter-relacionados com GUIs. Úteis para iniciar e guiar a melhoria da modelagem do artefato  *SPL - Feature Model*.
3.  **Refer to the Modeling Recommendation (MR).** Esta terceira atividade envolve a consulta das *Modeling Recommendations* (MR) no artefato  *Guidelines* para cada uma das TVs ou OV's das principais características de SCF. A tarefa MR objetiva melhorar a modelagem do artefato  *SPL - Feature Model* por meio de recomendações de modelagem contidas nos artefatos  *Guidelines* e  *Checklist*.
4.  **Answer Checklist Questions.** Esta quarta tarefa é útil para analisar e observar uma ou várias recomendações de modelagem como melhorias durante a modelagem do artefato  *SPL - Feature Model*. As MRs estão também descritas no artefato  *Checklist*, no qual suas questões são respondidas durante esta quarta tarefa.
5.  **Apply Modeling Recommendation (MR).** Nesta quinta tarefa uma ou várias MRs devem ser aplicadas como saídas da modelagem do artefato  *SPL - Feature Model*. Recomenda-se utilizar a ferramenta  FeatureIDE como apoio a modelagem.
6.  **Verify Feature Constraints (FC).** Nesta sexta tarefa as TVs ou OV's têm restrições (*constraints*) nas características especificadas nos artefatos  *ProVarMod4CPS - Feature Model* e  *Guidelines*. As *constraints* são verificadas de maneira semi-automatizada utilizando os mecanismos de verificação de *constraints* fornecidos pela ferramenta  FeatureIDE. A FC considera a definição de *constraints* de variabilidade da ISO/IEC (2015): “relações de restrição entre uma variante e um ponto de variação, entre duas variantes, e entre dois pontos de variação”. As *constraints* entre variantes são equivalentes às características especificadas como FC neste subprocesso.

7.  **Apply Feature Constraints (FC).** A sétima tarefa aplica as *constraints* no artefato em melhoria  *SPL - Feature Model*. As FCs são consultadas e previamente verificadas nos artefatos  *ProVarMod4CPS - Feature Model* e  *Guidelines*.
8.  **Refer to the Feature Attributes (FA).** Após a aplicação de MRs e FCs no artefato  *SPL - Feature Model*, esta oitava tarefa auxilia na consulta de atributos de *features* (FAs) nas TVs ou OVs nos artefatos  *ProVarMod4CPS - Feature Model* e  *Guidelines*.
9.  **Define values of the Feature Attributes (FA).** Esta última tarefa permite definir valores dos FAs nas características no artefato  *SPL - Feature Model*. Por exemplo, um FA é uma unidade de medida em *Celsius* associada a uma característica de um sensor de temperatura. A ferramenta  FeatureIDE suporta a especificação dos valores dos FAs nas características do artefato  *SPL - Feature Model*.

Após os  *Roles* realizarem todas as tarefas deste  Subprocesso do ProVarMod4CPS, o artefato  *SPL - Feature Model* (que recebeu as melhorias de modelagem) é enviado para atividade de  **Instantiate Feature Model**. Tal atividade é a última do processo primário do ProVarMod4CPS (Figura 35), que tem como saída (*output*) o  *SPL – Instantiated Feature Model*, finalizando o processo de modelagem.

A operacionalização do ProVarMod4CPS foi explicitada nessas seções 5.1 e 5.1.1. A solução completa com artefatos, atividades, tarefas, papéis e o subprocesso do ProVarMod4CPS pode ser consultado na íntegra no Apêndice A (em inglês).

Por fim, as melhorias de modelagem aplicadas no  *SPL - Feature Model* é por causa da modelagem das TVs e OVs, classificadas no  *ProVarMod4CPS - Feature Model*. Esse artefato (modelo) é representado na próxima seção 5.2.

## 5.2 Artefato: Representação do *Feature Model*

As principais características de SCF foram identificadas em livros e estudos primários com base nas subseções 4.3.3.2 e 4.3.3.3 (CAPÍTULO 4). A classificação das características foi realizada de acordo com a descrição das características e quando suas relações explícitas com outras características foram mencionadas nos trechos de texto dos livros ou artigos. Assim, foi criado o *Feature Model*, denominado  *ProVarMod4CPS - Feature Model*, com base nas definições das características de

SCF da literatura. Esse *feature model* e as diretrizes são avaliados(as) no CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7. As melhorias identificadas após a análise e interpretação dos resultados da avaliação empírica descrita no CAPÍTULO 6 foram aplicadas no  *ProVarMod4CPS - Feature Model*.

O artefato  *ProVarMod4CPS - Feature Model* tem características abstratas (não-funcionais) e concretas (funcionais) representadas e classificadas para apoiar a modelagem de variabilidades das principais características de SCF. Estas características foram modeladas utilizando o apoio ferramental  FeatureIDE. O artefato  *ProVarMod4CPS - Feature Model* foi representado com tal ferramenta.

A  FeatureIDE<sup>38</sup> proporciona simplicidade e uma abstração de alto nível para modelagem de características em SPL (MEINICKE *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2016). As características pais e filhas são representadas e associadas por meio de relacionamentos essenciais (obrigatório (*mandatory*), opcional (*optional*), grupo alternativo (*alternative group*), e grupo OU (*OR group*). A  FeatureIDE verifica os relacionamentos de características pais e filhas para auxiliar na criação e modelagem de variabilidades das características no  *ProVarMod4CPS - Feature Model*.

As principais características de SCF foram classificadas como *Technical and Organizational Variabilities (TV and OV)*, especificadas no artefato  *Guidelines* para ajudar na modelagem de variabilidades de SCF (Seção 5.3 e Subseção 5.3.1). As principais características de SCF estão descritas no artefato  *Guidelines*. O significado das características é descrito no campo **DEF#** - agrupado em cada TV e OV no artefato  *Guidelines* (Tabela 7).

A Figura 38, Figura 39 e a Figura 40, representam as principais características de SCF (TV e OV) do artefato  *ProVarMod4CPS - Feature Model*. O referido artefato foi dividido em três partes para facilitar sua visualização como um *feature model* completo.

---

<sup>38</sup> FeatureIDE site: <https://featureide.github.io/>

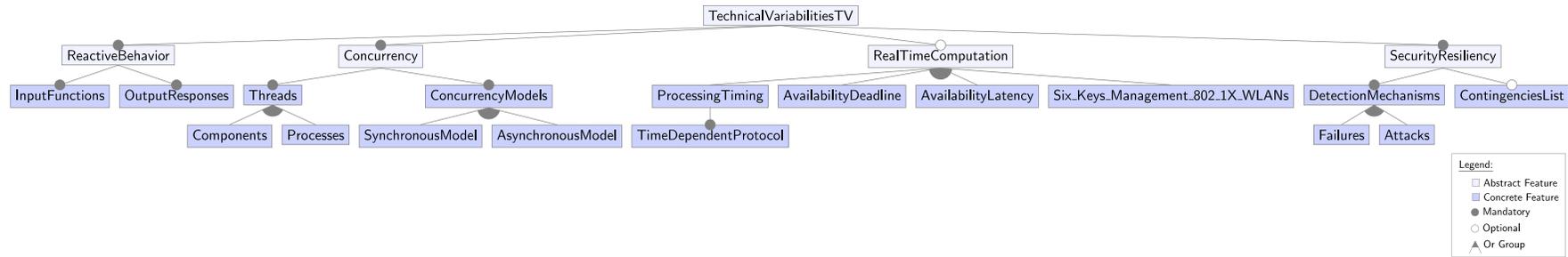


Figura 38. ProVarMod4CPS - Feature Model - Technical Variabilities (TV) - Primeira Parte.

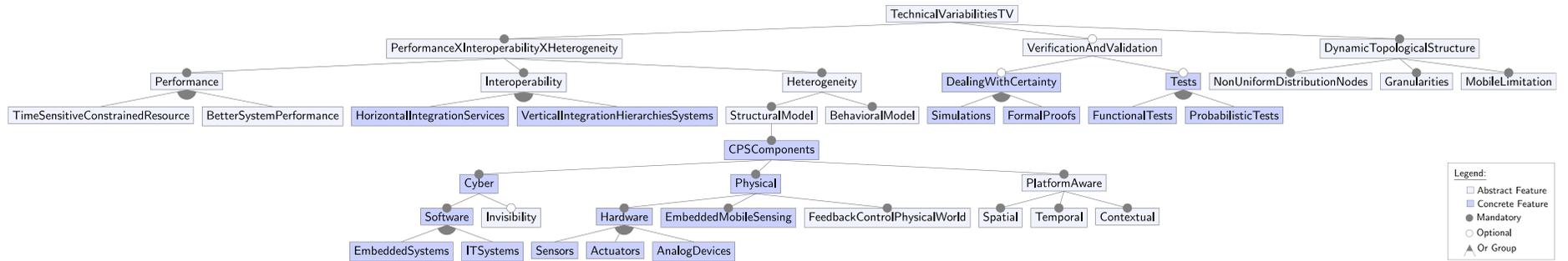


Figura 39. ProVarMod4CPS - Feature Model - Technical Variabilities (TV) - Segunda Parte.

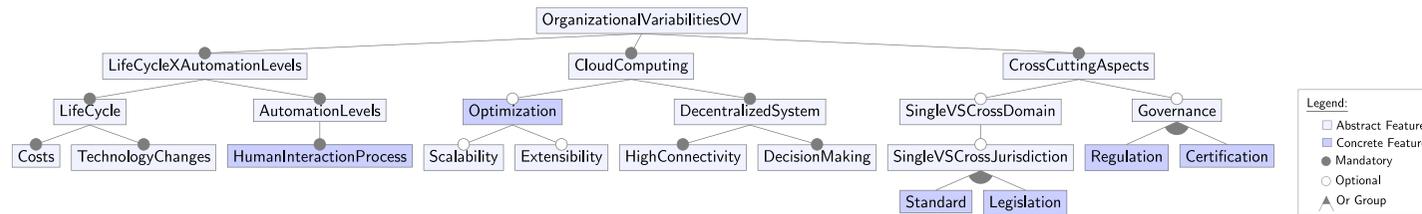


Figura 40. ProVarMod4CPS - Feature Model - Organizational Variabilities (OV) - Terceira Parte.

Para garantir a consistência entre as características, a Tabela 5 apresenta as restrições (*constraints*) especificadas no  *ProVarMod4CPS – Feature Model*.

**Tabela 5. Restrições das características do *ProVarMod4CPS – Feature Model*.**

<b>Restrições (<i>Constraints</i>)</b>	<b>Descrições</b>
Six_Keys_Management_802_1X_WLANs $\Rightarrow$ AvailabilityDeadline $\wedge$ ProcessingTiming <b>FeatureIDE:</b> Six_Keys_Management_802_1X_WLANs <b>implies</b> (AvailabilityDeadline <b>and</b> ProcessingTiming)	<b>(TV3)</b> A característica Six_Keys_Management_802_1X_WLANs implica ( <i>implies</i> ) na disponibilidade do SCF, causando deadline conforme o tempo de processamento.
Six_Keys_Management_802_1X_WLANs $\Rightarrow$ AvailabilityLatency $\wedge$ ProcessingTiming <b>FeatureIDE:</b> Six_Keys_Management_802_1X_WLANs <b>implies</b> (AvailabilityLatency <b>and</b> ProcessingTiming)	<b>(TV3)</b> A característica Six_Keys_Management_802_1X_WLANs implica ( <i>implies</i> ) na disponibilidade do SCF, causando latência conforme o tempo de processamento.
ProcessingTiming $\Rightarrow$ AvailabilityDeadline $\vee$ AvailabilityLatency <b>FeatureIDE:</b> ProcessingTiming <b>implies</b> (AvailabilityDeadline <b>or</b> AvailabilityLatency)	<b>(TV3)</b> A característica concreta pai ProcessingTiming implica ( <i>implies</i> ) no deadline OU latência do SCF.
ContingenciesList $\Rightarrow$ Attacks <b>FeatureIDE:</b> ContingenciesList <b>implies</b> Attacks	<b>(TV4)</b> A seleção da característica ContingenciesList implica ( <i>implies</i> ) na característica Attacks.
ContingenciesList $\Rightarrow$ Failures <b>FeatureIDE:</b> ContingenciesList <b>implies</b> Failures	<b>(TV4)</b> A seleção da característica ContingenciesList implica ( <i>implies</i> ) na característica Failures.
FeedbackControlPhysicalWorld $\Rightarrow$ Sensors $\vee$ Actuators <b>FeatureIDE:</b> FeedbackControlPhysicalWorld <b>implies</b> (Sensors <b>or</b> Actuators)	<b>(TV6)</b> Esta restrição implica ( <i>implies</i> ) no controle do feedback (respostas) (FeedbackControlPhysicalWorld) de Sensors OU Actuators no mundo físico.
EmbeddedSystems $\Rightarrow$ Sensors <b>FeatureIDE:</b> EmbeddedSystems <b>implies</b> Sensors	<b>(TV6)</b> Define que a seleção de EmbeddedSystems implica ( <i>implies</i> ) na utilização de Sensors do SCF.
Tests $\Rightarrow$ Simulations $\vee$ FormalProofs <b>FeatureIDE:</b> Tests <b>implies</b> (Simulations <b>or</b> FormalProofs)	<b>(TV7)</b> O objetivo desta restrição é delimitar a execução de testes em simulações ou provas formais do SCF. A característica Tests implica ( <i>implies</i> ) na seleção das características Simulations OU FormalProofs.
<b>Restrições Cruzadas (<i>Cross-Constraints</i>)</b>	<b>Descrições</b>
Attacks $\Rightarrow$ ProcessingTiming <b>FeatureIDE:</b> Attacks <b>implies</b> ProcessingTiming	<b>(TV4 X TV3)</b> Os Attacks implicam ( <i>implies</i> ) no desempenho do tempo de processamento (ProcessingTiming) e disponibilidade do SCF.
Attacks $\Rightarrow$ Invisibility <b>FeatureIDE:</b> Attacks <b>implies</b> Invisibility	<b>(TV4 X TV6)</b> Os Attacks implicam ( <i>implies</i> ) na parte Ciber devido a sua característica invisível.
BetterSystemPerformance $\Rightarrow$ Failures <b>FeatureIDE:</b> BetterSystemPerformance <b>implies</b> Failures	<b>(TV5 X TV4)</b> Consiste no desempenho (BetterSystemPerformance) que implica ( <i>implies</i> ) no objetivo de evitar Failures no SCF.

A seção 5.3 e subseção 5.3.1 descrevem o artefato  *Guidelines*. Este artefato utiliza a representação das TVs e OVs, detalhando-as em onze categorias.

### 5.3 Artefato: Especificação das Diretrizes (*Guidelines*)

As diretrizes (*guidelines*) foram especificadas considerando a representação das TVs e OVs do artefato  *ProVarMod4CPS - Feature Model* (Seção 5.2). As características abstratas (não-funcionais) e concretas (funcionais) foram identificadas a partir da literatura, modeladas, associadas a este *feature model*. As características foram classificadas e especificadas em onze categorias principais de diretrizes (*guidelines*) representadas como especificações de TVs e OVs. O escopo da diretriz se concentra nas principais características para SCF.

As *Definitions* (DEFs) em cada diretriz estão associadas as suas respectivas *Guidelines* (GUI) em onze TVs e OVs, denominadas: *TV.1. Reactive Computation*; *TV.2. Concurrency*; *TV.3. Real-Time Computation*; *TV.4. Security and Resilience*; *TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity*; *TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components*; *TV.7. Verification and Validation (V&V)*; *TV.8. Dynamic Topological Structure*; *OV.1. Life Cycle X Automation Levels*; *OV.2. Cloud Computing*; and *OV.3. Cross-Cutting Aspects*.

As tabelas a seguir apresentam a *TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components* como um exemplo estrutural com artefatos e tarefas, que são realizadas por diferentes  *Roles* por meio do  Subprocesso *ProVarMod4CPS* (Tabela 6).

Cada tarefa DEF (Tabela 7), GUI (Tabela 8), MR (Tabela 9), FC (Tabela 10) e FA (Tabela 11) possui uma representação no  Subprocesso do *ProVarMod4CPS* a ser realizada sequencialmente em conjunto com as diretrizes do artefato  *Guidelines*.

A combinação do  Subprocesso do *ProVarMod4CPS* (Figura 37) com  *Guidelines* é fundamental para garantir a consistência durante a modelagem.

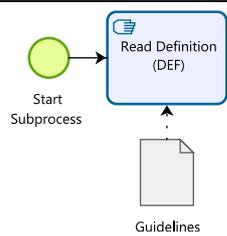
As TVs e OVs do artefato  *Guidelines* são descritas na íntegra na seção 5.3.1.

**Tabela 6. Artefato *Guidelines*. Exemplo de Tarefas e Artefatos – *TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components*.**

TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components	
<b>Activity (Subprocess)</b>	<b>Modeling Technical Variabilities of CPS Features</b>
 Manual Task	Read Definition (DEF); e Read Guideline (GUI).
 User Task	Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).
 Artifacts	<i>Guidelines</i> ; <i>Checklist</i> ; <i>ProVarMod4CPS – Feature Model</i> ; <i>SPL – Feature Model</i> .
Legend:  Tasks /  Artifacts	

**Tabela 7. Artefato Guidelines. Exemplo – TV.6 – DEF6. CPS Components**

**TV.6 – DEF6. CPS Components**



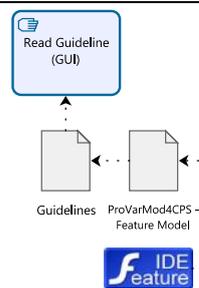
A parte ciber (*cyber*) engloba os sistemas embarcados ou sistemas de TI apoiados por interações de partes físicas (*physical*) (CYPHERS, 2014; SCHATZ *et al.*, 2015; WANG; WANG, 2018; CYPHERS, 2015). O projeto dos componentes em ambas as partes do SCF deve ocorrer de maneira minimalista e autônoma para gerenciar atributos como memória, tipos de energia, força (potência) e faixas de transmissão (STANKOVIC *et al.*, 2016). A autonomia do componente no SCF ocorre com base na integração de sensores e atuadores na nuvem (BHADORIA *et al.*, 2015; SIDDESH *et al.*, 2015).

Os sensores têm a capacidade de sensoriamento em vários domínios (WU *et al.*, 2011). A capacidade de sensoriamento em SCF (por exemplo, móvel e embarcado) considera a mobilidade e a cobertura de sensoriamento. Por exemplo, os dispositivos móveis conectados a operadoras telefônicas geram condições de mau funcionamento ou oscilações na rede da operadora ao longo do tempo (WU *et al.*, 2011). Assim, é necessária a especificação do estado dos sensores, atuadores e dispositivos analógicos. Por exemplo, a luz de um atuador com condições de liga/desliga (RAJKUMAR *et al.*, 2017).

Os dispositivos se comunicam por meio do intercâmbio de dados com o mundo físico (BHADORIA *et al.*, 2015; SIDDESH *et al.*, 2015). Entretanto, a parte ciber pode ser invisível e estar sob ataque (ADHIKARI *et al.* 2015; RAWAT *et al.*, 2015). Por exemplo, os controles dos airbags não devem falhar (RAJKUMAR *et al.*, 2017). O feedback do mundo físico auxilia neste controle. Esse feedback envolve a modelagem do mundo físico para desenvolver um sistema de controle de feedback por meio das respostas dos dispositivos (sensores, atuadores, ou dispositivos analógicos) (ALUR, 2015).

**Tabela 8. Artefato Guidelines. Exemplo – TV.6 – GUI6. CPS Components.**

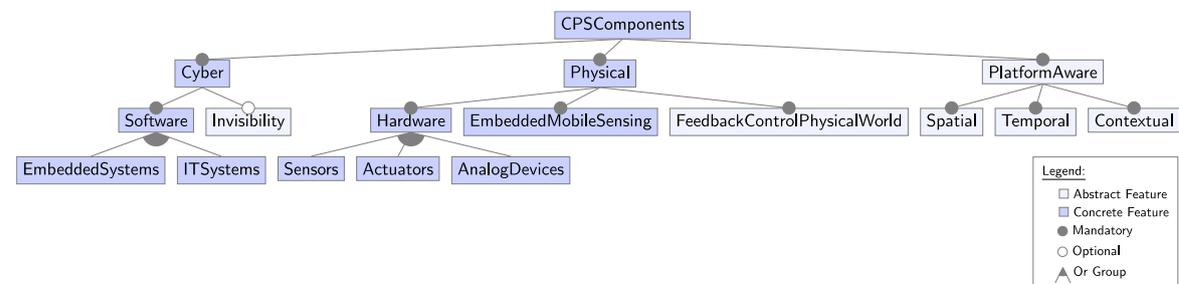
**TV.6 – GUI6. CPS Components (CPSComponents)**



Esta diretriz (*guideline*) é associada com a característica concreta obrigatória (*mandatory*) com base na DEF6. A GUI6 é considerada um núcleo central com características fundamentais para a modelagem de SCF. Esta diretriz consiste de características abstratas e concretas para auxiliar na modelagem de ambas as partes ciber (*cyber*) e física (*physical*). A principal característica CPSComponents é associada com as características concretas obrigatórias (*mandatory*) denominadas **Cyber AND Physical**, relacionadas com as características pai: **Software AND Hardware**. A característica **Software** é associada com as características filha: **EmbeddedSystems OR ITSystems**. A característica **Hardware** é associada com as características filhas: **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**.

A característica **Physical** é associada com a característica concreta obrigatória (*mandatory*) **EmbeddedMobileSensing AND FeedbackControlPhysicalWorld**. Essas características representam a cobertura de sensoriamento e o feedback of **Sensors OR Actuators (Physical)**.

A característica abstrata obrigatória (*mandatory*) **PlatformAware** é associada com as características filha: **Spatial, Temporal e Contextual**. Estas três últimas características representam as dimensões contidas no projeto de SCF.



**GUI6. CPS Components (CPSComponents) – Trecho da Figura 39.**

Tabela 9. Artefato *Guidelines*. Exemplo – TV.6 – MR6. Modeling Recommendation.

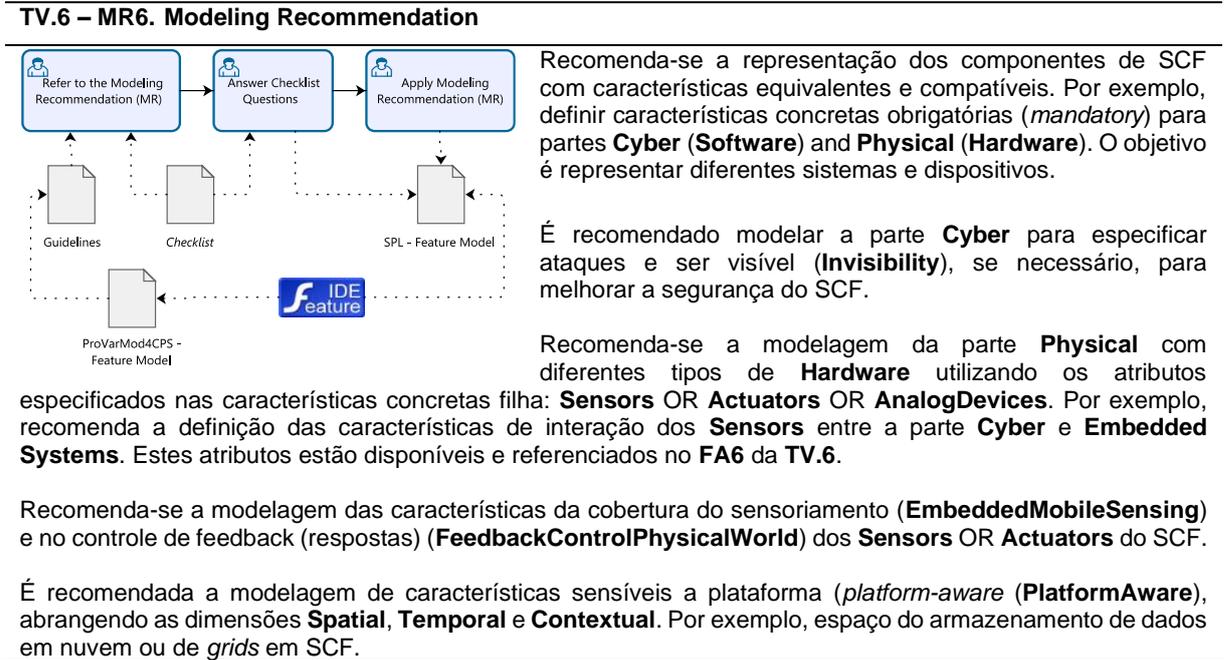


Tabela 10. Artefato *Guidelines*. Exemplo – TV.6 – FC6. Feature Model Constraints.

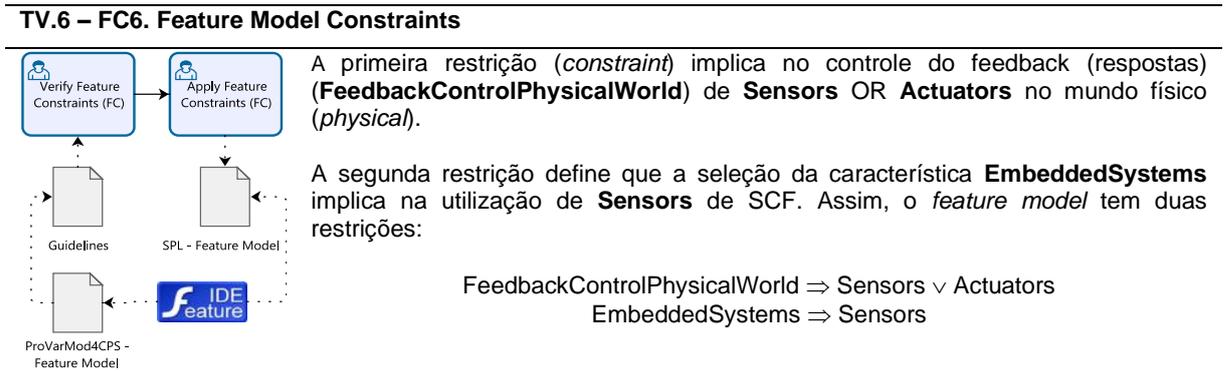
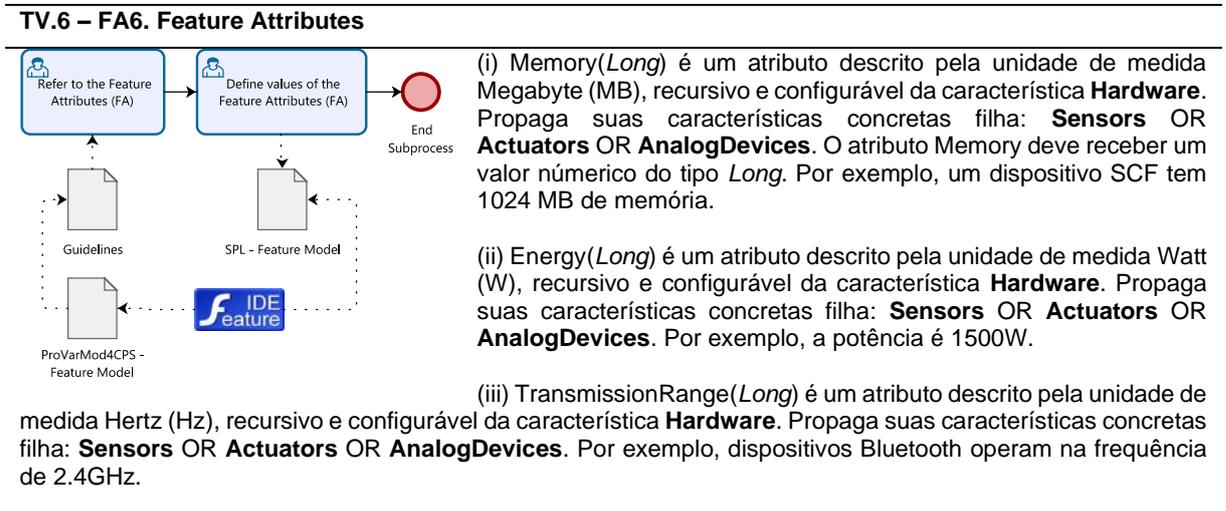


Tabela 11. Artefato *Guidelines*. Exemplo – TV.6 – FA6. Feature Attributes.



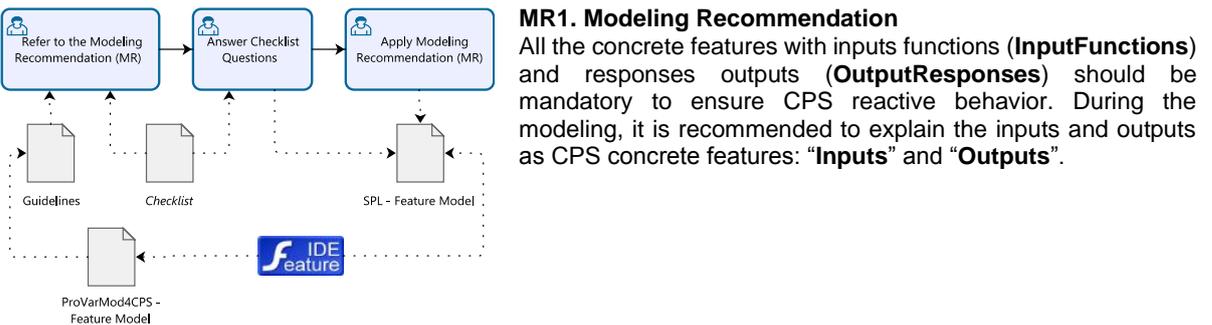
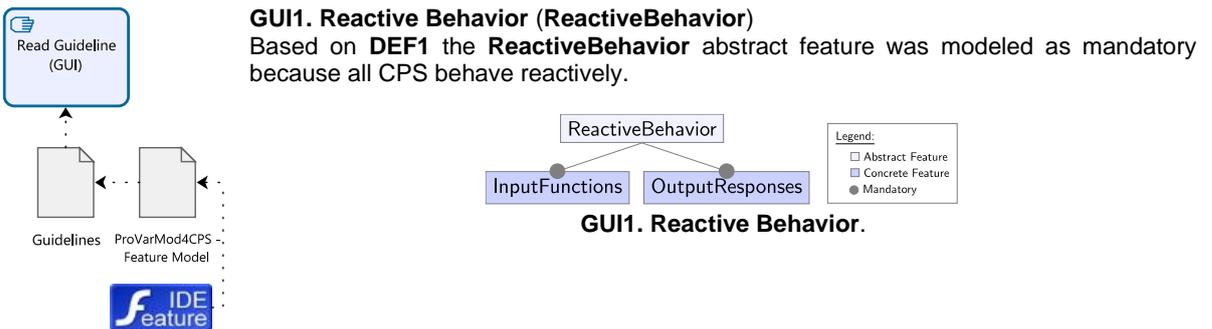
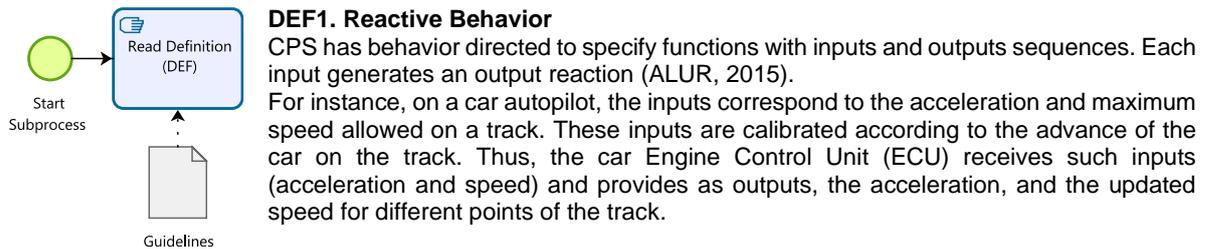
(iv) *SensorsTypes(String)*, *ActuatorsTypes(String)*, e *AnalogDevicesTypes(String)*, são atributos configuráveis das suas respectivas características **Sensors** OR **Actuators** OR **AnalogDevices**. Esses atributos permitem descrever os tipos de sensores, atuadores ou dispositivos analógicos. Por exemplo, sensores de temperatura, umidade e vento são essenciais para um SCF no domínio da agricultura. Dispositivos analógicos são fundamentais para proteger operações de sistemas críticos, por exemplo, ativação de airbag em carros.

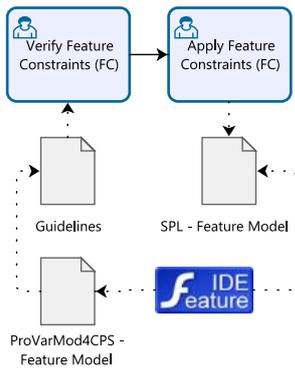
### 5.3.1 Artefato: Guidelines (Diretrizes)

As onze categorias principais de diretrizes contidas no artefato Guidelines foram representadas como especificações de TVs e OVs e são descritas nas tabelas a seguir.

Tabela 12. Especificação da Diretriz (Guideline) - TV.1. Reactive Behavior.

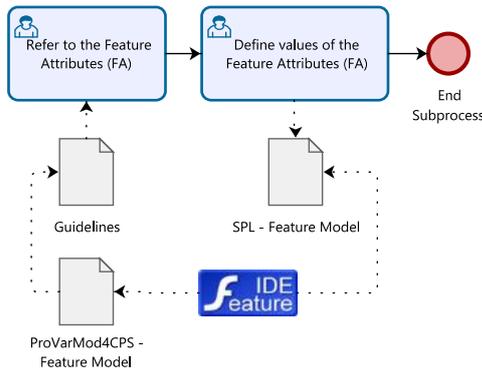
TV.1. Reactive Behavior	
<b>Activity (Subprocess)</b> Manual Task User Task	<b>Modeling Technical Variabilities of CPS Features</b> Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI). Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA). Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.
Artifacts Tasks / Artifacts	





### FC1. Feature Model Constraints

No constraints have been specified between the concrete features of this guideline. **InputFunctions** and **OutputResponses** features are mandatory. No constraints have been specified to avoid redundancy in the modeling.



### FA1. Feature Attributes

(i) **InputsSequences(Long)**, a configurable and recursive attribute of the **InputFunctions** feature. Configurable list of CPS input sequences. For example, the acceleration speed of a car at the beginning of the track.

(ii) **OutputsSequences(Long)**, a configurable and recursive attribute of the **OutputResponses** feature. Configurable list of CPS output sequences. For example, acceleration speed is updated at the end of a track.

Tabela 13. Especificação da Diretriz (*Guideline*) - TV.2. Concurrency.

**TV.2. Concurrency**

**Activity (Subprocess)**

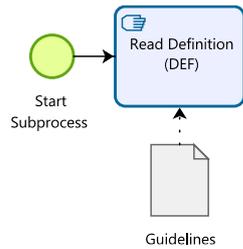
- Manual Task
- User Task

**Modeling Technical Variabilities of CPS Features**

Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI).  
 Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).

- Artifacts
- Tasks / Artifacts

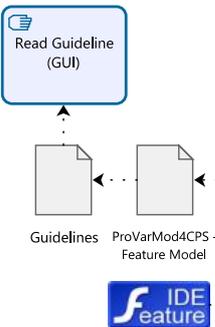
Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.



**DEF2. Concurrency**

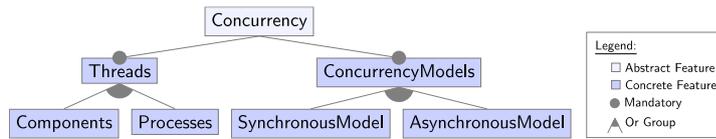
Defines threads as components or processes concurrently executed based on CPS behavior using synchronous or asynchronous concurrency models in different domains (ALUR, 2015).

For example, the mobility of wheeled robots is planned and configured with multiple concurrent threads in a synchronous or asynchronous mode. Robots should exchange motion information with asynchronous (independent) or synchronous (verified by the emitter and receiver) messages to avoid collisions and obstacles in an environment.

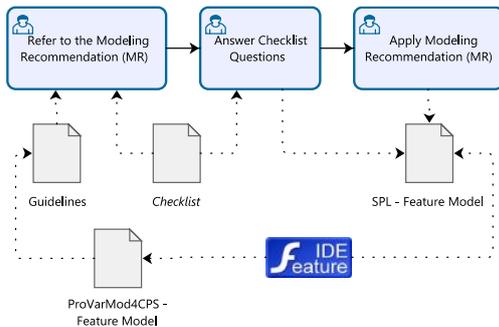


**GUI2. Concurrency (Concurrency)**

**Concurrency** abstract feature was modeled as mandatory based on the **DEF2**. This guideline considers threads and concurrent models that represent information executed concurrently from CPS.



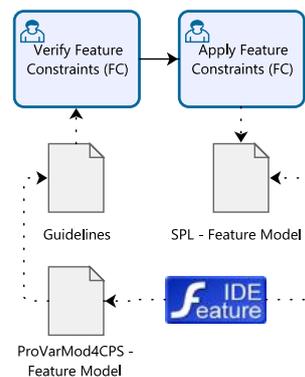
**GUI2. Concurrency.**



**MR2. Modeling Recommendation**

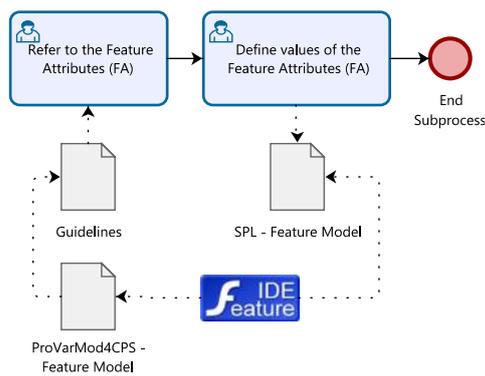
It is recommended that the threads and the concurrent models be represented as parent concrete features in two OR groups. The parent concrete feature **Threads** has two child concrete features for a selection called **Components OR Processes**. The **ConcurrencyModels** parent concrete feature has two child concrete features for a selection called **SynchronousModel OR AsynchronousModel**.

For example, the same device is configured to change state synchronously OR asynchronously, OR not to send messages over a wired network, OR over a wireless network.



**FC2. Feature Model Constraints**

No constraints are specified for the mandatory parent features. Child features of the OR group have no constraints, which prevents redundancy in modeling.



## FA2. Feature Attributes

(i) `ComponentsInformation(String)`, a configurable and recursive attribute of the **Components** feature. Describes the CPS components. For example, this component is responsible for calibrating the jump of a robot.

(ii) `ProcessInformation(String)`, a configurable and recursive attribute of the **Components** feature. Describes the CPS processes. For example, this process specifies the activities that a robot can do during a day.

(iii) `SynchronousEmitter(Boolean)`, `SynchronousReceiver(Boolean)`, `SynchronousMessageEmitter(String)`, and `SynchronousMessageReceiver(String)` are configurable and recursive attributes of the **SynchronousModel** feature.

`SynchronousEmitter` attribute verifies (*true* or *false*) if the messages were sent to the `SynchronousMessageEmitter` attribute, which has the message sent and described in a *String*. `SynchronousReceiver` attribute verifies (*true* or *false*) if the messages were received to the `SynchronousMessageReceiver` attribute, which has such a message received and described in a *String*.

(iv) `AsynchronousEmitter(Boolean)`, `AsynchronousReceiver(Boolean)`, `AsynchronousMessageEmitter (String)`, and `AsynchronousMessageReceiver(String)` are configurable attributes of the **AsynchronousModel** feature. `AsynchronousEmitter` attribute verifies (*true* or *false*) if the messages were sent to the `AsynchronousMessageEmitter` attribute, which has the message sent and described in a *String*. `AsynchronousReceiver` attribute verifies (*true* or *false*) if the messages were received and associated with the `AsynchronousMessageReceiver` attribute, which has such a message received and described in a *String*.

Tabela 14. Especificação da Diretriz (*Guideline*) - TV.3. Real-Time Computation.

**TV.3. Real-Time Computation**

**Activity (Subprocess)**

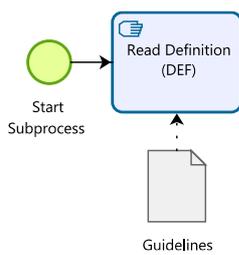
- Manual Task
- User Task

**Modeling Technical Variabilities of CPS Features**

Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI). Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).

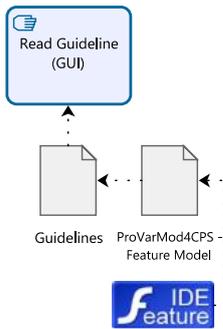
- Artifacts
- Tasks / Artifacts

Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.



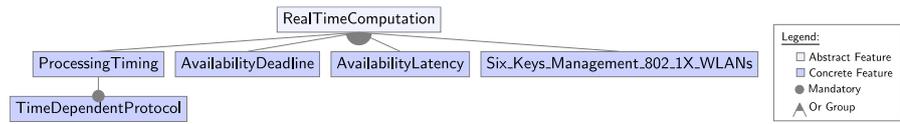
**DEF3. Real-Time Computation**

Encompasses the CPS real-time performance and their delay time modeling, including different protocols and resources available during the processing time (ALUR, 2015). To ensure real-time availability, it is necessary to manage time constraints such as deadline and latency (WLAN cryptographic keys management in Wireless Sensor Networks (WSN)) (SONG et al., 2018; WANG and NIKOLAI, 2018). For example, a CPS in the context of WSN does capture data of the network in specific periods or dates previously defined. Another example is a Cruise Control System that controls the car speed with speed and time computations that aim to calibrate a pre-defined car speed in a route.

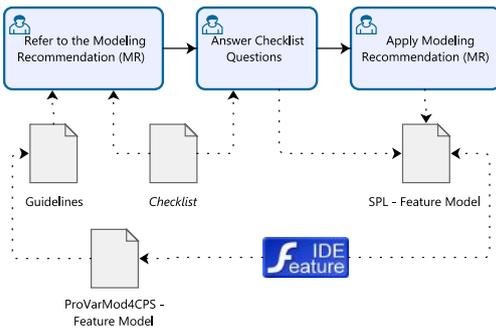


**GUI3. Real-Time Computation (RealTimeComputation)**

Guideline based on DEF3. RealTimeComputation abstract feature was modeled as optional because there CPS that are not executed in real-time. For example, CPS in WSN.

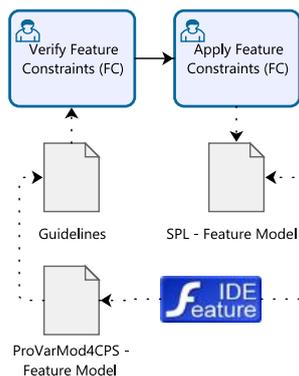


**GUI3. Real-Time Computation.**



**MR3. Modeling Recommendation**

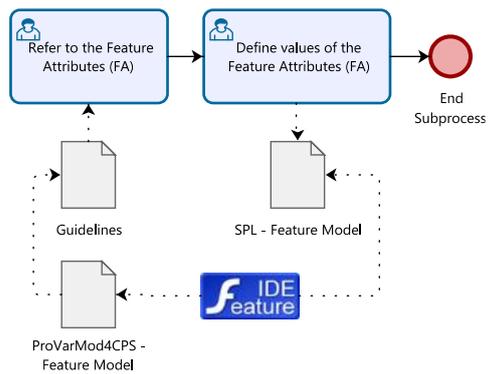
It is recommended to select the following child concrete features of the OR group to solve the optional parent abstract feature **RealTimeComputation**: **ProcessingTiming** OR **AvailabilityDeadline** OR **AvailabilityLatency** OR **Six\_Keys\_Management\_802\_1X\_WLANs**. Due to the possibility of data captured in real-time, it is recommended to implement strategies with features to guarantee availability. These features are considered for that the system can process data in an adequate time and does not cause slowdowns in their ecosystem.



**FC3. Feature Model Constraints**

Three constraints were specified in the feature model for this GUI3. These constraints are useful to delimit the performance and availability of the CPS in real-time. **Six\_Keys\_Management\_802\_1X\_WLANs** implies in the CPS availability, causing deadline OR latency depending on the processing time. Thus, the **TempoProcessamento** parent concrete feature *implies in the* deadline OR latency of the CPS. The constraints were represented in the feature model, as well as specified according to the internal constraints language and mechanism of the FeatureIDE support tool. The following restrictions have been specified:

$Six\_Keys\_Management\_802\_1X\_WLANs \Rightarrow AvailabilityDeadline \wedge ProcessingTiming$   
 $Six\_Keys\_Management\_802\_1X\_WLANs \Rightarrow AvailabilityLatency \wedge ProcessingTiming$   
 $ProcessingTiming \Rightarrow AvailabilityDeadline \vee AvailabilityLatency$



### FA3. Feature Attributes

(i) *Milliseconds(Long)*, a configurable attribute associated with the **ProcessingTiming** feature. Allows configuring the CPS processing time in milliseconds (ms). For example, in a Cruise Control System, it is possible to configure how many ms a car should reach the desired speed on a route.

(ii) *Delays(Long)*, a configurable attribute of the **ProcessingTiming** feature. Allows configuring the CPS time delays in milliseconds (ms). For example, how many ms of delay is required for the ECU or onboard computer to calibrate the car acceleration in a strong curve.

(iii) *ProtocolName(String)*, a configurable attribute of the **ProtocoloDependenteTempo** mandatory concrete feature.

Allows inserting the protocol name used in real-time computing. For example, a specific version of the Real-time Transport Protocol (RTP) may be described briefly in this attribute.

(iv) *Master\_Key\_MK(String)*, *Pairwise\_Master\_Key\_PMK(String)*, *Pairwise\_Transient\_Key\_PTK(String)*, *Key\_Confirmation\_Key\_KCK(String)*, *Key\_Encryption\_Key\_KEK(String)*, and *Temporal\_Key(String)*, are configurable attributes of the *String* type for six different cryptographic keys. These attributes are related to **Six\_Keys\_Management\_802\_1X\_WLANs** feature.

Tabela 15. Especificação da Diretriz (*Guideline*) - TV.4. Security and Resiliency.

**TV.4. Security and Resiliency**

**Activity (Subprocess)**

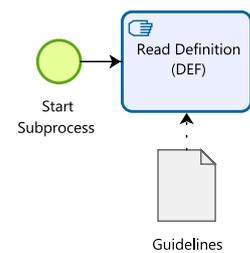
- Manual Task
- User Task

**Modeling Technical Variabilities of CPS Features**

Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI). Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).

- Artifacts
- Tasks / Artifacts

Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.

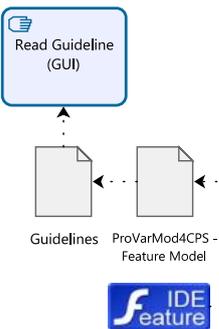


**DEF4. Security and Resiliency**

Security protecting a CPS applying techniques and using the professional's knowledge aiming to minimize risks in complex environments. For example, CPS in wireless networks (STANKOVIC et al., 2016).

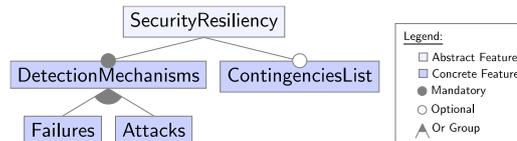
Security is affected by failures and attacks that cause CPS performance degradation and slowdowns. Failures and attacks are problems that should be minimized through isolation, described by contingencies list aim to avoid CPS malfunction and availability. Thus, a CPS must be resilient (RAJKUMAR et al., 2017).

Resilience to failures and attacks considers the CPS ability to remain available while over these problems. For example, CPS key management needs to be resilient during attacks and keep the CPS in operation (SONG et al., 2018; WANG and NIKOLAI, 2018).

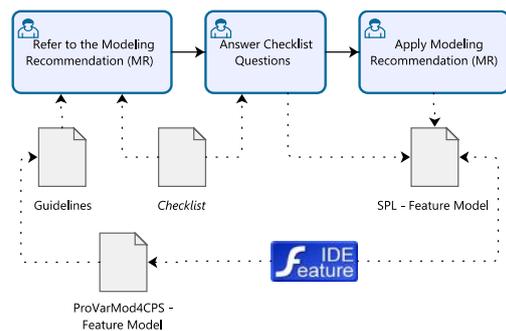


**GUI4. Security and Resiliency (SecurityResiliency)**

This GUI4 has the **SecurityResiliency** abstract feature modeled as mandatory. **SecurityResiliency** was modeled to protect CPS survival and availability, especially against **Failures OR Attacks**.



**GUI4. Security and Resiliency.**



**MR4. Modeling Recommendation**

**SecurityResiliency** is associated with parent concrete feature **DetectionMechanisms** for the following child concrete features: **Failures OR Attacks**. The **ContingenciesList** concrete feature is optional and is associated with a **SecurityResiliency** feature. This list helps in the CPS protection containing the main description of the **Failures OR Attacks**.

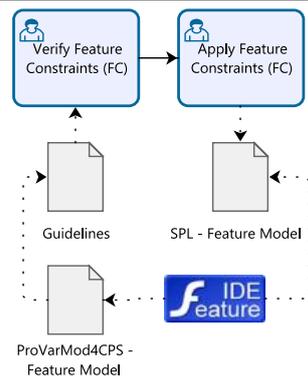
It is recommended that a safety plan be created by modeling features. This plan may be useful to keep the CPS resilient.

Domain security experts should be consulted to develop a plan to implement security strategies and mitigate CPS **Failures OR Attacks**.

**Attacks.**

It is recommended to model CPS features as mechanisms to detect the main types of CPS **Failures OR Attacks** that should occur.

It is recommended that a contingencies list may be created to describe the **Failures OR Attacks** types that a CPS has been impacted over time. In this way, a problem history (**Failures OR Attacks**) is maintained and may be consulted when necessary.

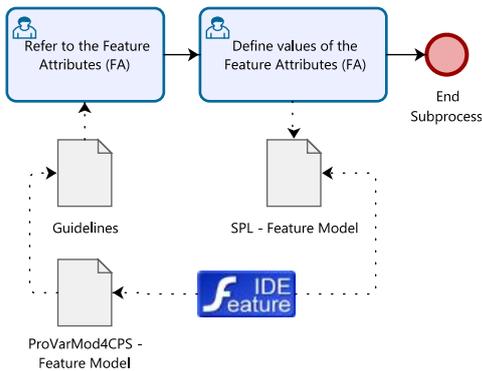


#### FC4. Feature Model Constraints

Two constraints have been specified for this **GUI4**.

These constraints imply in the selection of the **ContingenciesList** as an optional concrete feature. Such a list is necessary to describe CPS attacks or failure lists to allow the creation of history over time. Therefore, the **ContingenciesList** feature selection implies the selection of the **Faults OR Attacks** features. Thus, the following constraints have been specified in the feature model:

ContingenciesList  $\Rightarrow$  Attacks  
 ContingenciesList  $\Rightarrow$  Failures



#### FA4. Feature Attributes

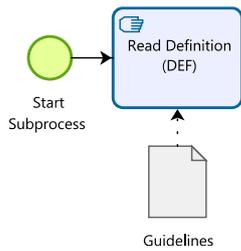
(i) **FailuresType(String)**, a configurable attribute of the **Failures** feature. This attribute allows describing the CPS failure type.

(ii) **AttacksType(String)**, a configurable attribute of the **Attacks** feature. This attribute allows describing the CPS attack type.

(iii) **ListFailures(String)** e **ListAttacks(String)**, They are configurable attributes of the **ContingenciesList** feature. These attributes are responsible for containing different lists of CPS failures and attacks.

**Tabela 16. Especificação da Diretriz (Guideline) - TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity.**

<b>TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity</b>	
<b>Activity (Subprocess)</b>	<b>Modeling Technical Variabilities of CPS Features</b>
Manual Task	Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI).
User Task	Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).
Artifacts	Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.
Tasks / Artifacts	

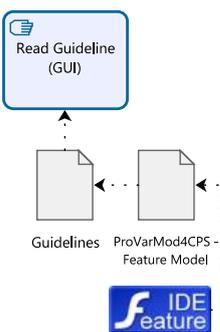


**DEF5. Performance X Interoperability X Heterogeneity**

**DEF5.1. Performance:** Measuring available resources related to the performance of CPS (NAKAJIMA et al., 2017; LEE and SESHIA, 2016; MALLET et al., 2017). Involves resources from the CPS data processing performance with aim of avoiding failures (BHADORIA et al., 2015; SIDDESH et al., 2015). Noises are considered to improve the performance of the CPS. For example, the response time (STANKOVIC et al., 2016). Thus, a cyberinfrastructure should be considered through the implementation of a high-performance CPS (BHADORIA et al., 2015; SIDDESH et al., 2015).

**DEF5.2. Interoperability:** Horizontal and vertical integration of physical devices in embedded systems or IT systems (SONG et al., 2017; TÖRNGREN et al., 2017). Horizontal integration encompasses the integration of different services. Vertical integration includes the system hierarchies integration (WANG and WANG, 2018; SCHATZ et al., 2015; CYPHERS, 2014; CYPHERS, 2015). The integration occurs in several third party (3rd party) components or subsystems in the CPS. During integration, CPS can have a high amount of failures, minimized through standardized components (cyber and physical) (SONG et al., 2018; WANG and NIKOLAI, 2018; STANKOVIC et al., 2016). To reduce risks, interoperability should be managed by experts with a broad knowledge of software architectures and standards (STANKOVIC et al., 2016).

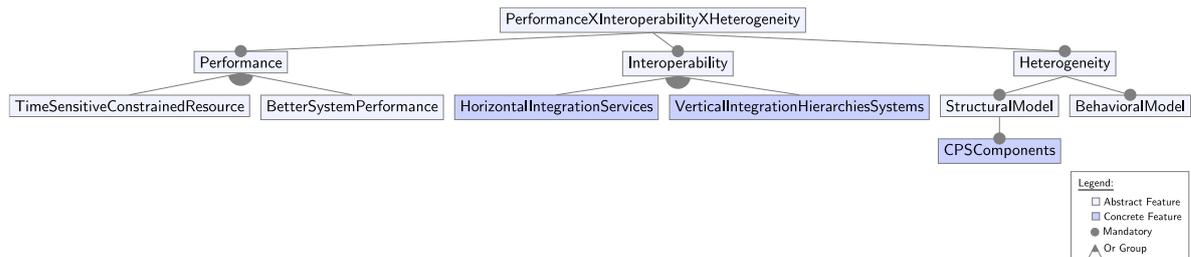
**DEF5.3. Heterogeneity:** Consists of structural and behavioral models based on interconnected devices (SONG et al., 2018; WANG and NIKOLAI, 2018; BHADORIA et al., 2015; SIDDESH et al., 2015; NAKAJIMA et al., 2017; LEE and SESHIA, 2016; MALLET et al., 2017). These models allow the CPS composition (BHADORIA et al., 2015; SIDDESH et al., 2015). The structural model is related to the cyber and physical components specification. The structural model includes heterogeneous sensors and actuators integration, as well as limitations of memory (flash and RAM), energy (sensors and actuators with battery power source), and transmission range (range appropriate for communications in different environments) (SONG et al., 2018; WANG and NIKOLAI, 2018). The behavioral model is based on state machines and hierarchical data flow structures (NAKAJIMA et al., 2017; LEE and SESHIA, 2016; MALLET et al., 2017).



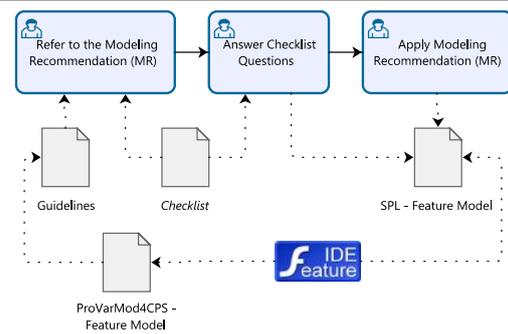
**GUI5. Performance X Interoperability X Heterogeneity (PerformanceXInteroperabilityXHeterogeneity)**

This parent abstract feature was modeled as mandatory and associated with the following child abstract features: **Performance**, **Interoperability**, and **Heterogeneity**. This cross-modeling was necessary because of the approximation between these features. The cross-modeling allowed reducing the complexity and increasing the simplicity in the modeling.

**Heterogeneity** involves the cyber and physical parts, detailed on TV.6 in the main feature named CPSComponents.



**GUI5. Performance X Interoperability X Heterogeneity.**



### MR5. Modeling Recommendation

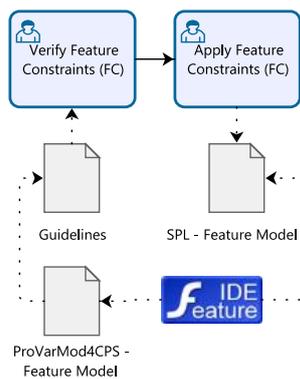
**MR5.1. Performance:** This parent abstract feature is mandatory, associated with their child abstract features named **TimeSensitiveConstrainedResource** OR **BetterSystemPerformance**. Modeling these features is recommended to minimize the noise in response time or to avoid cyberinfrastructure failures that affect CPS performance.

**MR5.2. Interoperability:** This mandatory parent abstract feature is associated with their child abstract features named **HorizontalIntegrationServices** OR **VerticalIntegrationHierarchiesSystems**. It is recommended to modeling these features to describe the horizontal

integration services OR the vertical integration systems.

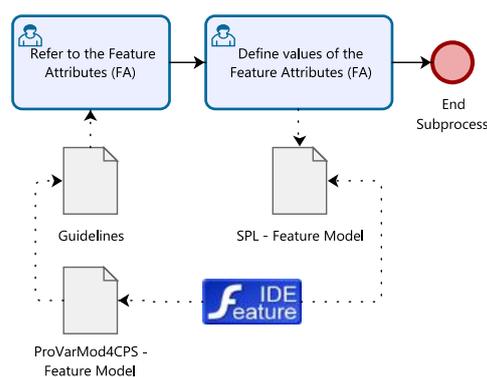
**MR5.3. Heterogeneity:** This parent abstract feature was modeled as mandatory. Involves the integration of the heterogeneous structural and behavioral models through the child abstract feature named **StructuralModel** AND **BehavioralModel**. The **StructuralModel** feature has a mandatory child concrete feature named **CPSComponents**. Such feature includes the organization and representation of the cyber (embedded or IT systems) and physical (sensors and actuators) parts. It is recommended the feature modeling that involves the cyber and physical parts due to the CPS nature and essence. The feature modeling of the **CPSComponents** feature is detailed on **TV.6**.

In the behavioral model, it is recommended the state machines modeling to ensure the optimization of the CPS behavior.



### FC5. Feature Model Constraints

No constraints are specified for the mandatory parent features. Child features of the OR group have no constraints, which prevents redundancy in modeling.



### FA5. Feature Attributes

#### FA5.1. Performance:

(i) **FastResponseTime(Long)**, a configurable attribute of the **TimeSensitiveConstrainedResource** feature. Includes the response time in milliseconds (ms) for communication between sensors to process data with a minimized response time.

(ii) **CyberInfrastructure(String)**, a configurable attribute of the **BetterSystemPerformance** feature. Describe the cyberinfrastructure belonging to the CPS.

(iii) **AvoidFailures(String)**, a configurable attribute of the **BetterSystemPerformance** feature. Description of failures that affect CPS performance.

#### FA5.2. Interoperability:

(i) **HorizontalIntegrationDescription(String)**, a configurable attribute of the **HorizontalIntegrationServices** feature. Contains the description of the services integrated into the CPS. For example, third parties services.

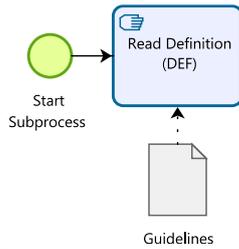
(ii) **VerticalIntegrationDescription(String)**, a configurable attribute of the **VerticalIntegrationHierarchiesSystems** feature. Includes the description of different systems integrated into the CPS. For example, third party subsystems.

#### FA5.3. Heterogeneity

(i) **StateMachineTypes(String)**, a configurable and recursive attribute of the **BehavioralModel** feature. Two state machine types are considered for description. For example, transducers (input and output) and recognizers (two outputs).

Tabela 17. Especificação da Diretriz (*Guideline*) - TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components.

TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components	
<b>Activity (Subprocess)</b>  Manual Task  User Task	<b>Modeling Technical Variabilities of CPS Features</b> Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI). Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA). Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.
 Artifacts  Tasks /  Artifacts	



#### DEF6. CPS Components

Abrange a parte ciber com sistemas embarcados ou sistemas de TI apoiados por interações com a parte física (WANG e WANG, 2018; SCHATZ *et al.*, 2015; CYPHERS, 2014; CYPHERS, 2015). O projeto dos componentes em ambas as partes do SCF deve ocorrer de maneira minimalista e autônoma para gerenciar atributos como memória, tipos de energia, força (*power*) e faixas de transmissão em SCF (STANKOVIC *et al.*, 2016). Essa autonomia dos componentes em SCF ocorre com base na integração de sensores e atuadores na nuvem (BHADORIA *et al.*, 2015; SIDDESH *et al.*, 2015).

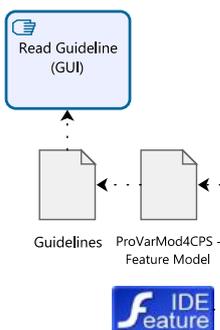
Os sensores têm a capacidade de sensoriamento em vários domínios (WU *et al.*, 2011). A capacidade de sensoriamento móvel e embarcado em SCF considera a mobilidade e abrangência de sensoriamento. Por exemplo, dispositivos móveis conectados em operadoras de telefonia geram condições de mal funcionamento ou oscilações na rede de telefonia ao longo do tempo (WU *et al.*, 2011). Assim, o estado dos sensores, atuadores e dispositivos analógicos devem ser especificados. Por exemplo, ligar uma luz a partir de um atuador, no qual seu estado de operação deve ser verificado (luz ligada/luz desligada) (RAJKUMAR *et al.*, 2017).

Os dispositivos se comunicam por meio da troca de dados com o mundo físico (BHADORIA *et al.*, 2015; SIDDESH *et al.*, 2015). Entretanto, a parte ciber pode estar invisível e sofrer com ataques (ADHIKARI *et al.*, 2015; RAWAT *et al.*, 2015). A interação e a execução funcional correta são primordiais neste cenário e em dispositivos analógicos projetados no mundo digital. O projeto de dispositivos deve ser correto para garantir que um SCF seja seguro. Por exemplo, controles de *airbag* não devem falhar (RAJKUMAR *et al.*, 2017). O *feedback* com o mundo físico auxilia neste controle. Tal *feedback* implica na modelagem do mundo físico para permitir o desenvolvimento de um sistema de controle com *feedback* por meio das respostas dos dispositivos (sensores, atuadores ou dispositivos analógicos) (ALUR, 2015).

**DEF6.1. Sensível a Plataforma** (RAJKUMAR *et al.*, 2017; NAKAJIMA *et al.*, 2017; LEE e SESHIA, 2016; MALLETT *et al.*, 2017): Um SCF é sensível a plataforma na interseção espacial, temporal e contextual. Na dimensão espacial são considerados recursos disponíveis em uma topologia interconectada com componentes físicos. A oferta e a demanda de armazenamento são balanceadas com base nos recursos do SCF. Por exemplo, armazenamento em *smart grid* para diferentes usuários (RAJKUMAR *et al.*, 2017).

A dimensão temporal abrange quando e como os recursos serão alocados. Envolve a oferta e a entrega relativas ao tempo a partir da identificação dos locais onde os usuários estão. Por exemplo, *power grid* distribuída e interconectada (RAJKUMAR *et al.*, 2017).

A dimensão contextual é baseada na especificação de requisitos para diferentes usuários (RAJKUMAR *et al.*, 2017). Nessa dimensão é definida a capacidade do SCF em lidar com variações de contexto. Por exemplo, condições incertas em ambientes ou falhas em detrimento de adaptações (WANG e WANG, 2018; SCHATZ *et al.*, 2015; CYPHERS, 2014; CYPHERS, 2015).

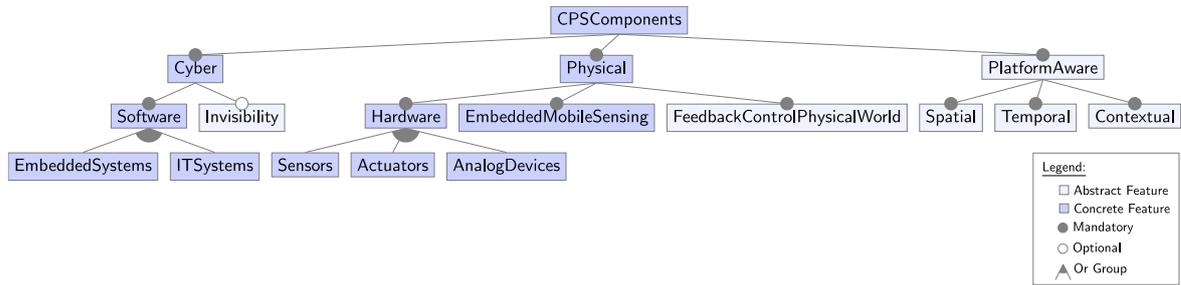


#### GUI6. CPS Components (CPSComponents)

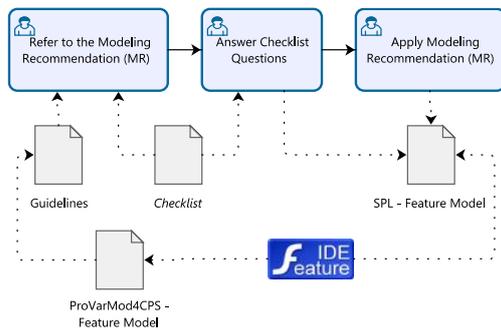
Esta **GUI6** foi modelada como uma característica concreta mandatória com base na **DEF6** e **DEF6.1**. A **GUI6** é o núcleo principal com características fundamentais para a modelagem de SCF. Consiste em características abstratas e concretas para auxiliar na modelagem das partes ciber e físico. A característica principal **CPSComponents** desta **GUI6**, está associada com as características concretas mandatórias **Cyber AND Physical**, relacionadas com as características pai **Software AND Hardware**. A **Software** está associada com as características filhas **EmbeddedSystems OR ITSsystems**. A **Hardware** está associada com as características filhas **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**.

A característica **Physical** também está associada com a característica concreta mandatória **EmbeddedMobileSensing** AND a característica abstrata mandatória **FeedbackControlPhysicalWorld**. Tais características representam a abrangência de sensoriamento e o *feedback* dos **Sensors OR Actuators (Physical)**.

A característica abstrata mandatória **PlatformAware** está associada com as características filhas **Spatial**, **Temporal** e **Contextual**. Essas últimas características representam as dimensões contidas no projeto de SCF.



**GUI6. CPS Components (CPSComponents).**



**MR6. Modeling Recommendation**

Recomenda-se que os componentes do SCF sejam representados com características equivalentes e compatíveis. Por exemplo, recomenda-se definir características concretas mandatórias para as partes **Cyber (Software)** e **Physical (Hardware)**. O objetivo é representar diferentes sistemas e dispositivos.

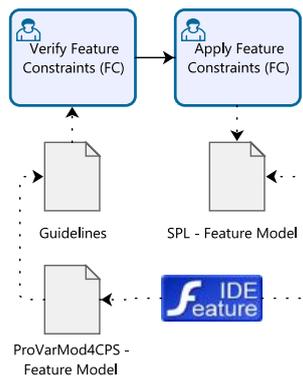
Recomenda-se que a parte **Cyber** seja modelada para evitar ataques e esteja visível (**Invisibility**), quando necessário, para melhorar a segurança do SCF.

Recomenda-se modelar a parte **Physical** com tipos diferentes de **Hardware** por meio dos atributos especificados nas

características concretas filhas **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**. Por exemplo, recomenda-se definir características de interação dos **Sensors** com **EmbeddedSystems** da parte **Cyber**. Esses atributos estão disponíveis para consulta na **FA6** desta **TV.6**.

Recomenda-se modelar características para a abrangência do sensoriamento (**EmbeddedMobileSensing**) e do controle de *feedback* (respostas) (**FeedbackControlPhysicalWorld**) dos **Sensors OR Actuators** do SCF.

Recomenda-se modelar características que expressem o SCF com níveis sensíveis a plataforma (**PlatformAware**) como: **Spatial**, **Temporal** e **Contextual**. Por exemplo, espaço de armazenamento de dados na nuvem ou *grids* utilizadas no contexto do SCF.

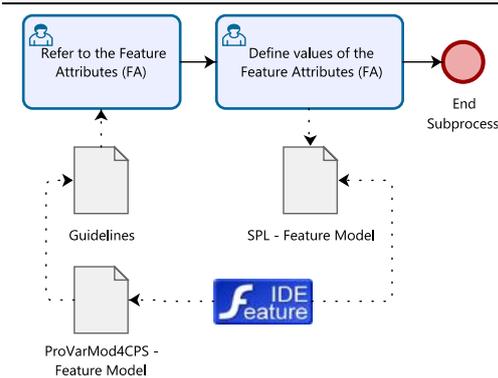


**FC6. Feature Model Constraints**

Duas restrições (*constraints*) essenciais foram especificadas para esta **GUI6**.

A primeira restrição implica (*implies*) no controle do *feedback* (respostas) (**FeedbackControlPhysicalWorld**) de **Sensors OR Actuators** no mundo físico. A segunda restrição define que a seleção de **EmbeddedSystems** implica (*implies*) na utilização de **Sensors** do SCF. Assim, as seguintes restrições foram especificadas no feature model:

$$\begin{aligned} \text{FeedbackControlPhysicalWorld} &\Rightarrow \text{Sensors} \vee \text{Actuators} \\ \text{EmbeddedSystems} &\Rightarrow \text{Sensors} \end{aligned}$$



#### FA6. Feature Attributes

(i) *Power(Long)*, é um atributo descrito pela unidade de medida Volt (v), recursivo e configurável da característica **Hardware**. É propagado para as suas características concretas filhas **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**. O atributo Power deve receber um valor numérico do tipo *Long*, que representa uma voltagem. Por exemplo, os dispositivos do SCF são de 12V.

(ii) *Memory(Long)* é um atributo descrito pela unidade de medida Megabyte (MB), recursivo e configurável da característica **Hardware**. É propagado para as suas características concretas filhas **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**. O atributo Memória deve receber um valor numérico do tipo *Long*. Por exemplo, um dispositivo do SCF tem 1024 MB de memória.

(iii) *Energy(Long)* é um atributo descrito pela unidade de medida Watt (W), recursivo e configurável da característica **Hardware**. É propagado para as suas características concretas filhas **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**. O atributo Watt deve receber um valor numérico do tipo *Long*. Por exemplo, uma fonte de energia do SCF possui 1500W.

(iv) *TransmissionRange(Long)* é um atributo descrito pela unidade de medida Hertz (Hz), recursivo e configurável da característica **Hardware**. É propagado para as suas características concretas filhas **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**. O atributo *TransmissionRange* deve receber um valor numérico do tipo *Long*. Por exemplo, os dispositivos *bluetooth* do SCF operam na frequência 2.4GHz.

(v) *OnOffState(Boolean)*, é um atributo recursivo e configurável da característica **Hardware**. É propagado para as suas características concretas filhas **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**. O atributo *OnOffState* deve receber um valor verdadeiro (*true*) ou falso (*false*). Por exemplo, o estado de um dispositivo de energia do SCF muda de ligado (*true*) para desligado (*false*).

(vi) *FailureNotification(Boolean)*, é um atributo recursivo e configurável da característica **Hardware**. É propagado para as suas características concretas filhas **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**. O atributo *FailureNotification* deve receber um valor verdadeiro (*true*) ou falso (*false*). Por exemplo, se um dispositivo do SCF falhar, um sinal positivo (*true*) será enviado para avisar sobre o problema.

(vii) *SensorsTypes(String)*, *ActuatorsTypes(String)* e *AnalogDevicesTypes(String)*, são atributos configuráveis das suas respectivas características **Sensors OR Actuators OR AnalogDevices**. Os atributos permitem descrever, respectivamente, tipos de sensores, atuadores ou dispositivos analógicos principais do SCF. Por exemplo, sensores de temperatura, humidade e vento são essenciais para um SCF no domínio da agricultura. Dispositivos analógicos são essenciais para proteger o funcionamento de sistemas críticos como, por exemplo, o acionamento de *airbags* em automóveis.

(viii) *SensingCoverage(Long)* é um atributo descrito pela unidade de medida Metro (M) e configurável da característica **EmbeddedMobileSensing**. O atributo *SensingCoverage* deve receber um valor numérico do tipo *Long*. Por exemplo, um dispositivo *bluetooth*, de determinada classe, alcança uma distância de até 10M.

(ix) *SensorsResponses(Long)* e *ActuatorsResponses(Long)*, são atributos configuráveis da característica **FeedbackControlPhysicalWorld**. Os atributos *SensorsResponses* e *ActuatorsResponses* permitem descrever o feedback obtido por operações do SCF. Por exemplo, um sensor de temperatura recebe dados diferentes do ambiente a todo o momento. Portanto, o feedback torna-se necessário como um mecanismo de monitoramento.

(x) *StorageSpace(Long)*, *PreDefinedTime(Long)* e *MainContextRequirements(String)*, são atributos configuráveis das respectivas características **Spatial, Temporal e Contextual**.

O *StorageSpace(Long)* possui a unidade de medida MB e deve ser configurado com um valor numérico conforme um espaço de armazenamento disponível para alocação.

O *PreDefinedTime(Long)* possui a unidade de medida Milissegundos (ms) e deve ser configurado com um valor numérico que expresse o tempo de execução médio das operações do SCF.

O *MainContextRequirements(String)* permite descrever textualmente os requisitos de contexto base durante a modelagem do SCF.

Tabela 18. Especificação da Diretriz (*Guideline*) - TV.7. Verification & Validation (V&V).

**TV.7. Verification & Validation (V&V)**

**Activity (Subprocess)**

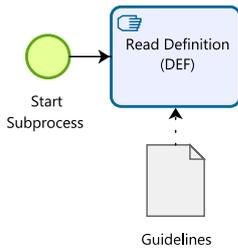
- Manual Task
- User Task

**Modeling Technical Variabilities of CPS Features**

Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI). Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).

- Artifacts
- Tasks / Artifacts

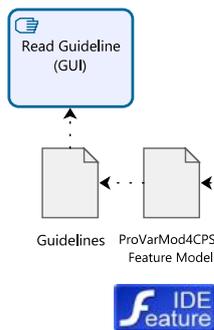
Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.



**DEF7. Verification & Validation (V&V)**

Consists of activities to evaluate the reliability and safety of the CPS by using functional and probabilistic methods. The methods should evaluate the CPS in a way to verify whether their behavior is adequate and reaches their goals for future integrations (ADHIKARI et al., 2015) (RAWAT et al., 2015).

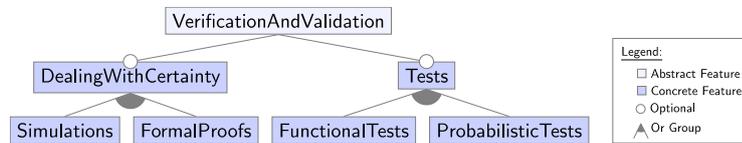
Based on the methods, the V&V activities should verify the CPS design by applying various types of tests. These tests are associated with simulations of CPS operation or formal tests (BHADORIA et al., 2015) (SIDDESH et al., 2015).



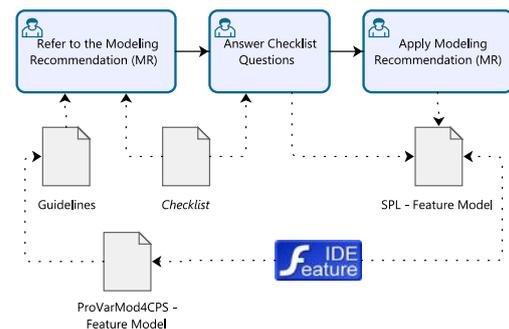
**GUI7. Verification & Validation (V&V) (VerificationAndValidation)**

This GUI7 has been modeled from this optional abstract feature and is solved by selecting the optional concrete features **DealingWithCertainty** AND **Tests**.

The **DealingWithCertainty** feature is solved by selecting two features called **Simulations** OR **FormalProofs**. These features contain the simulations or formal proofs descriptions. The **Tests** feature is solved by selecting two features called **FunctionalTests** OR **ProbabilisticTests**. These characteristics describe the test types that are performed in the CPS.



**GUI7. Verification & Validation (V&V).**

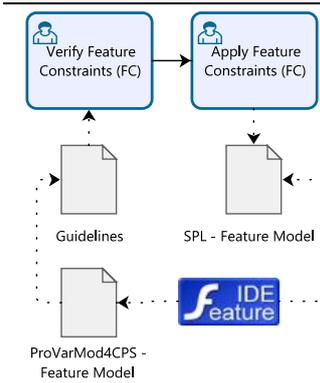


**MR7. Modeling Recommendation**

It is recommended to features modeling to represent the names and types of simulations or formal proofs, respectively, executed (simulations) or specified (proofs). In this case, it is necessary to select the features **Simulations** OR **FormalProofs** from the parent concrete feature **DealingWithCertainty**. For example, simulations using the Simulink tool (<https://www.mathworks.com/products/simulink.html>).

It is recommended to features modeling to represent the names and types of tests implemented. It is necessary to select the **FunctionalTest** OR **ProbabilisticTest** features

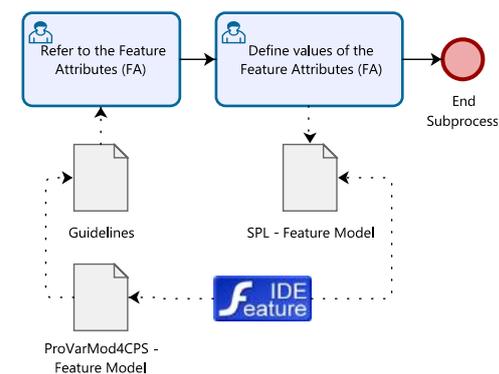
associated with the concrete parent feature **Tests**. For example, unit tests are planned and executed for along time.



### FC7. Feature Model Constraints

One constraint has been specified. This constraint is to delimit the test execution in simulations or formal proofs. The **Tests** feature implies the selection of the **Simulations** OR **FormalProofs** features. The following constraint has been specified:

Tests  $\Rightarrow$  Simulations  $\vee$  FormalProofs



### FA7. Feature Attributes

(i)  $Name(String)$  and  $Type(String)$ , are recursive and configurable attributes of the **DealingWithCertainty** feature. These attributes receive as values a *String* with the name and simulations or formal proofs types. The attributes are recursive and propagated for the **Simulations** OR **FormalProofs** features.

(ii)  $ExecutedSimulation(Boolean)$ , is a configurable attribute of the **Simulations** feature. This attribute receives a true value if a simulation is in execution, or false if a simulation is not in execution.

(iii)  $SpecifiedProof(Boolean)$ , is a configurable attribute of the **FormalProofs** feature. This attribute receives a true value if a formal proof is specified, or false if a formal proof is not specified.

(iv)  $TestName(String)$ ,  $TestType(String)$  and  $ImplementedTest(Boolean)$  are configurable and recursive attribute of the **Tests** feature. These attributes receive as values a *String* with the name and type of the CPS tests. In the  $ImplementedTest(Boolean)$ , a true value is assigned if the test is implemented, or false if a test is not implemented in CPS. The attributes are recursive and propagated to different test types represented by the **FunctionalTests** OR **ProbabilisticTests** features.

Tabela 19. Especificação da Diretriz (*Guideline*) - TV.8. Dynamic Topological Structure.

**TV.8. Dynamic Topological Structure**

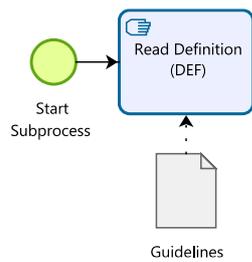
**Activity (Subprocess)**

- Manual Task
- User Task

**Modeling Technical Variabilities of CPS Features**

Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI).  
 Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).  
 Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.

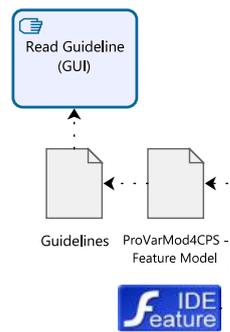
- Artifacts
- Tasks / Artifacts



**DEF8. Dynamic Topological Structure**

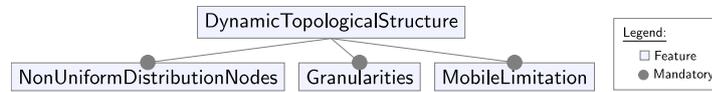
CPS nodes are dynamic in dynamic topology structures with high mobility and several connection cycles. For example, a vehicle is a node that changes its behavior according to the traffic of a road in the context of Cyber-Physical Transportation Systems (CPTS). Thus, there is a non-uniform distribution of nodes which occurs dynamically and affects connectivity in topology structures of different areas or locations. For example, a vehicle is a node that crosses the city or a rural area.

In this context, nodes are present in different granularities (high and low). The granularities include locations and nodes generated for smaller networks. These networks evolve based on their reliability aim to scale the CPS to networks with higher granularity. Despite the different granularities, there are mobile limitations on the wireless networks coverage power - limited by distance and signal range. Thus, invalid communications occur combined with the absence of security mechanisms (SUN and SONG, 2017) (WU and SUN, 2017).

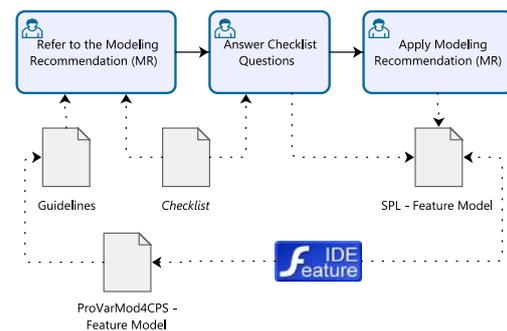


**GUI8. Dynamic Topological Structure (DynamicTopologicalStructure)**

This GUI8 was modeled on DEF8 from this mandatory abstract feature. The GUI8 should be solved by selecting the abstract features **NonUniformDistributionNodes** AND **Granularities** AND **MobileLimitation**. These features establish the occurrence of the non-uniform distribution of nodes, their different granularities, and movable limitations in the CPS.



**GUI8 Dynamic Topological Structure.**



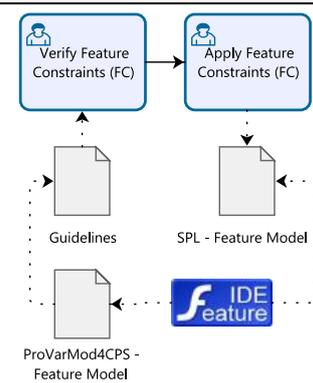
**MR8. Modeling Recommendation**

It is recommended to features modeling to represent the non-uniform distribution of the nodes (intelligent objects, sensors, or actuators) of the CPS (**NonUniformDistributionNodes**). Attributes as connectivity areas and subnetworks are considered nodes locate. For example, the nodes are vehicles with sensors or actuators.

It is recommended to features modeling to represent the nodes distributed in different locations by using specific attributes of high and low granularity (**Granularities**). For example, a vehicle in the same city, state, and country.

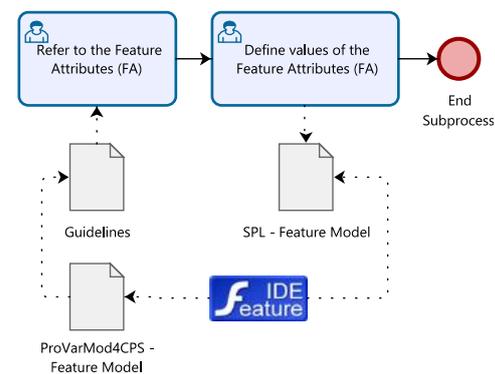
It is recommended to features modeling that presents the mobile limitations (**MobileLimitation**) of the CPS nodes. Attributes as distance and different signal ranges should receive values for modeling and configuration.

The attributes are available for consultation in the **FA8** of this **TV.8**.



### FC8. Feature Model Constraints

No constraints have been specified between abstract features of this **GUI8** because the **NonUniformDistributionNodes** AND **Granularities** AND **MobileLimitation** are mandatory abstract features. No constraints have been specified to avoid redundancy in the modeling.



### FA8. Feature Attributes

(i) *StructureType(String)*, is a configurable attribute of the **DynamicTopologicalStructure** feature. A value of *String* type should be assigned to describe the dynamic topology structure type used in the CPS.

(ii) *ConnectivityArea(String)* and *Subnetworks(String)*, are configurable attributes of the **NonUniformDistributionNodes** feature. These attributes enable to describe of the connectivity area (urban or rural) and associated subnetworks of the CPS.

(iii) *HighGranularity(Boolean)* and *LowGranularity (Boolean)*, are configurable attributes of the **Granularities** feature. These attributes receive a true value based on granularity type considered in the CPS, or false if some granularity is not included

in the CPS.

(iv) *Distance(Long)*, is a configurable attribute of the **MobileLimitation** feature. Receives a numeric value of the *Long* type for the unit of measurement Meter (M). This attribute enables describing the mobile range distance of the nodes.

(v) *DifferentSinalsRanges(String)*, is a configurable attribute of the **MobileLimitation** feature. Receives a *String* type value. Describes the signal ranges in which the CPS nodes operate.

Tabela 20. Especificação da Diretriz (*Guideline*) - OV.1. Life Cycle X Automation Levels.

**OV.1. Life Cycle X Automation Levels**

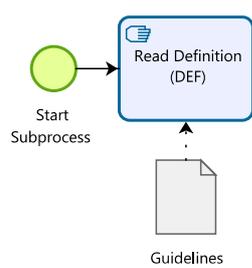
**Activity (Subprocess)**

- Manual Task
- User Task

**Modeling Organizational Variabilities of CPS Features**

Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI).  
 Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).  
 Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.

- Artifacts
- Tasks / Artifacts



**DEF1. Life Cycle X Automation Levels**

**DEF1.1. Life Cycle:** Implies in the trade-off between computational costs, business rules, and the integration between cyber and physical parts over time (SONG et al., 2018; TÖRNGREN et al., 2017; NAKAJIMA et al., 2017). This definition considers rapid technology changes. For example, in CPS protection and prevention factors based on safety. These factors influence the CPS's critical safety through humans interaction. The creation of safety mechanisms helps in the maintenance and protection of the CPS. Such mechanisms it is possible to detect and manage risks associated with the actions practiced by humans (NAKAJIMA et al., 2017; MALLET et al., 2017; STANKOVIC et al., 2016).

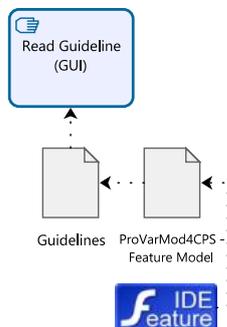
These safety factors influence the CPS life cycle, as well as how much the CPS is automated without drastically affecting its safety. Thus, different automation levels are essential in the CPS (SONG et al., 2018; TÖRNGREN et al., 2017; ADHIKARI et al., 2015; RAWAT et al., 2015).

**DEF1.2.1. Automation Levels:** Includes different levels of CPS automation. The CPS is totally or partially automated in terms of human interaction in CPS. In a fully automated CPS, the human only provides data inputs. In a partially automated CPS, humans have permissions to control the sharing of certain information (WANG and WANG, 2018; SCHATZ et al., 2015; CYPHERS, 2014; CYPHERS, 2015). In this scenario, the intelligence and adaptation levels between humans and the CPS are assumed (SONG et al., 2017; TÖRNGREN et al., 2017).

**DEF1.2.2. Human Interaction Process (Human In/Outside the Loop):** Establishes how human intervention affects and increases the complexity of CPS automation (WANG and WANG, 2018; SCHATZ et al., 2015; CYPHERS, 2014; CYPHERS, 2015). Human intervention with CPS should be modeled concerning human behavior for decision-making (BHADORIA et al., 2015; SIDDESH et al., 2015). Human intervention encompasses autonomy in CPS domains.

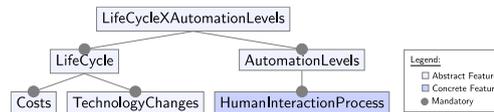
Total autonomy or total automation replaces unhealthy or dangerous human work. For example, robots act in manufacturing and assembly in the industry (WANG and WANG, 2018; SCHATZ et al., 2015; CYPHERS, 2014; CYPHERS, 2015).

In partial automation, it is necessary to consider human factors and usability of CPS. For example, a CPS in the health area (STANKOVIC et al., 2016). Thus, there are contributions and cooperation among users through participatory sensing with factors associated with sharing and security data in intelligent environments. For example, enables the observation of user behavior in smart cities (WU et al., 2011).

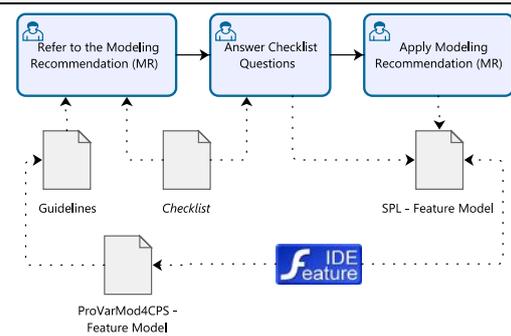


**GUI1. Life Cycle X Automation Levels (LifeCycleXAutomationLevels)**

Based on DEF1, this parent abstract feature was modeled as mandatory and associated with the parent abstract features: **LifeCycle** AND **AutomationLevels**. This intersection in the modeling was necessary because of the approximation between these features. Such intersection allowed reducing complexity and increasing simplicity in the modeling.



**GUI1. Life Cycle X Automation Levels.**



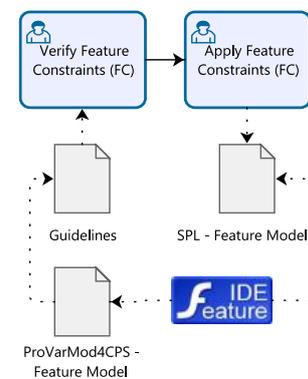
### MR1. Modeling Recommendation

**MR.1.1. LifeCycle:** This parent abstract feature is mandatory and associated with their child abstract features **Costs** AND **TechnologyChanges**.

It is recommended to model features equivalent to Costs features aim to initially describe **Costs** associated with business and computing rules. In the **TechnologyChanges** feature, it is possible to specify new and old technologies that will be or have been adapted through attributes in the CPS over time. Such attributes are available in the **FA1** of this **OV.1**.

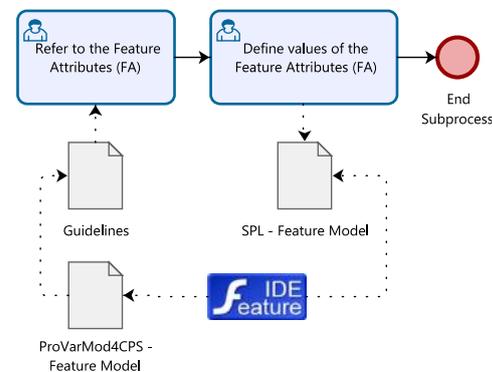
**MR1.2. AutomationLevels:** This parent abstract feature is mandatory and associated with the child concrete feature

named **HumanInteractionProcess**. It is recommended to select this concrete feature to define through attributes (see **FA1**) the CPS automation levels (total or partial), as well as if there will be data sharing between humans in the CPS. It is recommended to model explicitly which features are partial or totally automated. It is recommended to describe the data shared by certain humans (users - domain experts).



### FC1. Feature Model Constraints

No constraints are specified for the mandatory features. Child features of the OR group have no constraints, which prevents redundancy in modeling.



### FA1. Feature Attributes

(i) **BusinessRules(String)** and **Computational(String)**, are configurable attributes of the **Costs** feature. The **BusinessRules(String)** attribute enables to describe of the initial or essential business rules in CPS modeling. For example, define the use of specific brands of sensors or actuators. The **Computational(String)** attribute enables the description of the computational costs which impact the CPS. For example, supply and demand in processing.

(ii) **NewTechnologies(String)** and **OldTechnologies(String)**, are configurable attributes of the **TechnologyChanges** feature. These attributes help describe which essential technologies, old, new, are, or will be used.

(iii) **PartiallyAutomated(Boolean)**, **TotallyAutomated(Boolean)**, and **DataSharing(Boolean)** are configurable attributes of the **HumanInteractionProcess** feature. The attributes should be assigned a true or false value. If the CPS is **PartiallyAutomated(Boolean)** OR **TotallyAutomated(Boolean)** it should be assigned true or false for each of the attributes. If data is shared in CPS, the **DataSharing(Boolean)** attribute should be assigned a true or false value.

(iv) **DataSharingDescription(String)**, is a configurable attribute of the **HumanInteractionProcess** feature. This attribute shall receive as value the essential description of the CPS data sharing. For example, which data security policies have been implemented in the CPS and are visible to a certain set of humans (domain experts).

Tabela 21. Especificação da Diretriz (*Guideline*) - OV.2. Cloud Computing.

**OV.2. Cloud Computing**

**Activity (Subprocess)**

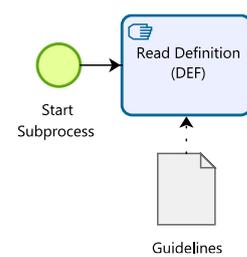
- Manual Task
- User Task

**Modeling Organizational Variabilities of CPS Features**

Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI). Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).

- Artifacts
- Tasks / Artifacts

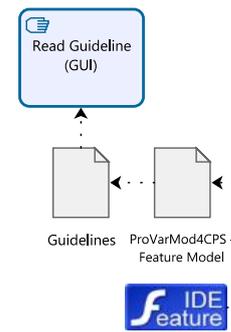
Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.



**DEF2. Cloud Computing**

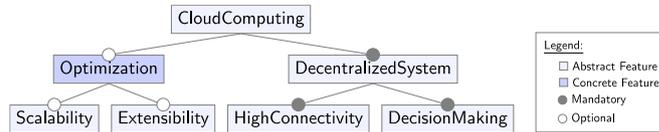
The CPS is autonomous and considers factors such as scalability and extensibility in an open environment (ADHIKARI et al., 2015) (RAWAT et al., 2015). In this environment, the physical part has been optimized in several applications as biomedical sensors (BHADORIA et al., 2015) (SIDDESH et al., 2015).

Scalability and extensibility involve managing demands of the CPS with the assignment of necessary resources to minimize their costs (BHADORIA et al., 2015) (SIDDESH et al., 2015) (ADHIKARI et al., 2015) (RAWAT et al., 2015). Resources are scaled into a cloud computing infrastructure. Such resources encompass cloud computing to CPS storage, computing, and communication. For example, load balancing has been an initial alternative for scaling cloud computing in the context of CPS (WU et al., 2011) (WANG and WANG, 2018). In cloud computing, the CPS is decentralized because it has high connectivity and allows control over decision making. Thus, the CPS should be controlled and adjusted to the environment in which it is operating (WANG and WANG, 2018) (CyPhERS, 2014) (CyPhERS, 2015) (SCHATZ et al., 2015) (WU et al., 2011).

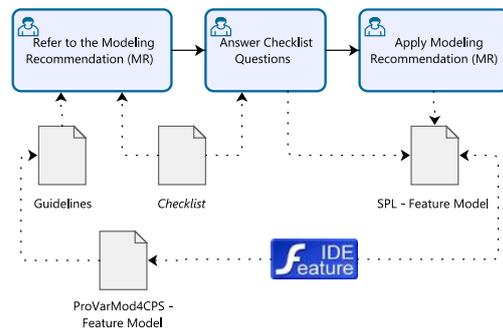


**GUI2. Cloud Computing (CloudComputing)**

Based on DEF2, this parent abstract feature was modeled as mandatory and associated with the child features **Optimization** AND **DecentralizedSystem**. The child concrete feature **Optimization** is optional and contains attributes to describe the CPS optimization based on **Scalability** AND **Extensibility** of cloud computing. The child abstract feature **DecentralizedSystem** is mandatory due to the high connectivity (**HighConnectivity**) and decision making (**DecisionMaking**) in CPS.



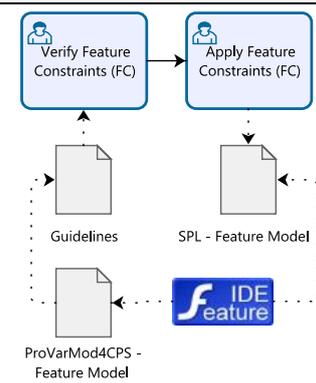
**GUI2. Cloud Computing.**



**MR2. Modeling Recommendation**

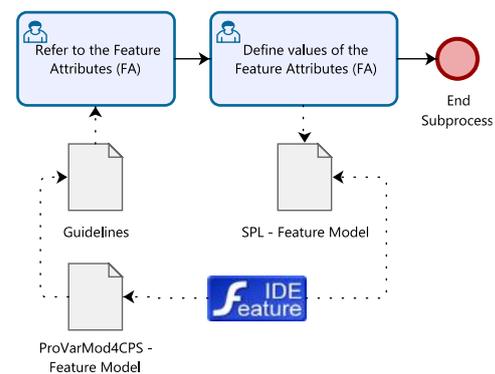
**MR.2.1. Optimization:** This feature is optional, but it is recommended for the modeling of equivalent features with the **Scalability** AND **Extensibility** features. The main purpose of this modeling is to initially describe the cloud computing capabilities available to the CPS. For example, to describe the available CPS resources as storage, computing, and communication attributes. These attributes are available in **FA2** of this **OV.2**.

**MR.2.2. DecentralizedSystem:** This feature is mandatory. It is recommended that the CPS should be a decentralized system and modeled with features that represent their high connectivity (**HighConnectivity**) with mechanisms to guide decision making (**DecisionMaking**). For example, enable decision making about distribute resources to guarantee connectivity.



## FC2. Feature Model Constraints

No constraints are specified for this **GUI2**. Child features have no constraints, which prevents redundancy in modeling.



## FA2. Feature Attributes

(i) **Storage(*String*)**, is a recursive and configurable attribute of the **Optimization** feature. This attribute receives as value a *String* type. This attribute allows describing how the information is stored in the CPS. For example, the information will be stored in a high security and cost technology.

(ii) **Computing(*String*)**, is a recursive and configurable attribute of the **Optimization** feature. This attribute receives as value a *String* type. It is an attribute that aims to receive information about how computing is performed in terms of data synchronization algorithms in the cloud. For example, CPS computing is performed through open-source data synchronization algorithms, limited in their security and scalability.

(iii) **Communication(*String*)**, is a recursive and configurable attribute of the **Optimization** feature. This attribute receives as value a *String* type. This attribute enables specifying how the CPS cloud communication. For example, the communication is performed in the cloud through a specific protocol for an application domain (agriculture, automotive, or health).

Tabela 22. Especificação da Diretriz (*Guideline*) - OV.3. Cross-Cutting Aspects.

**OV.3. Cross-Cutting Aspects**

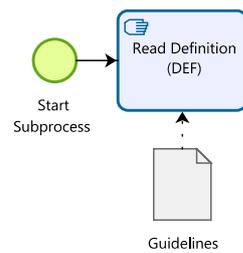
**Activity (Subprocess)**

- Manual Task
- User Task

**Modeling Organizational Variabilities of CPS Features**

Read Definition (DEF); and Read Guideline (GUI).  
 Refer to the Modeling Recommendation (MR); Answer Checklist Questions; Apply Modeling Recommendation (MR); Verify Feature Constraints (FC); Apply Feature Constraints (FC); Refer to the Feature Attributes (FA); Define values of the Feature Attributes (FA).  
 Guidelines; Checklist; ProVarMod4CPS - Feature Model; SPL - Feature Model.

- Artifacts
- Tasks / Artifacts



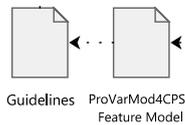
**DEF3.1. Cross-Cutting Aspects:** Encompasses properties of the cyber and physical parts associated with jurisdiction and governance constraints. Jurisdiction is associated with standards and legislation influenced by business. Governance has the responsibility to ensure efficient CPS operations. Thus, the correct operation of the CPS should be focused on something critical and reliable. For this, it is necessary to define government regulations and certifications in the CPS. For example, specify regulations and certifications to protect passengers from failure during a flight in aircraft systems (SONG et al., 2017) (TÖRNGREN et al., 2017). In this context, a CPS has been considered an open system due to the potential for connectivity and collaboration. However, there does not barrier that a CPS is developed for only one domain, very common in embedded systems (WANG and WANG, 2018) (CyPhERS, 2014) (CyPhERS, 2015) (SCHATZ et al., 2015) (WU et al., 2011).

**DEF3.2. Single-Domain versus Cross-Domain:** The Single-Domain term defines a common embedded system associated with only one domain. The Cross-Domain term comprises the CPS development for several distinct domains. This possibility comes from connectivity advancement over the years. For example, smart homes are integrated into electrical grids. (WANG and WANG, 2018) (CyPhERS, 2014) (CyPhERS, 2015) (SCHATZ et al., 2015) (WU et al., 2011).

**DEF3.3. Single-Jurisdiction versus Cross-Jurisdiction:** The Single-Jurisdiction term defines standards and legislation for only one system. These standards and legislation are applicable in several domains according to the Cross-Jurisdiction term. For example, there are many challenges and difficulties pertinent to the implementation of standards and legislation in open CPS because of the uncertainties about several domains (CyPhERS, 2014) (CyPhERS, 2015) (WANG and WANG, 2018) (SCHATZ et al., 2015) (WU et al., 2011).

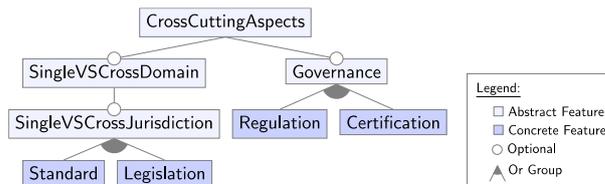
**DEF3.4. Governance:** Encompasses the division of responsibilities in CPS to guarantee efficient operations. For example, the entities that govern the CPS should have responsibilities towards the control efficiency of the CPS. (WANG and WANG, 2018) (CyPhERS, 2014) (CyPhERS, 2015) (SCHATZ et al., 2015) (WU et al., 2011).

**DEF3.5. Certification:** Involves the CPS evaluation and certification process based on well-established judgment criteria. The main certification objective is to report the compliance of the CPS in essential features. For example, safety and performance (ADHIKARI et al., 2015) (RAWAT et al., 2015).

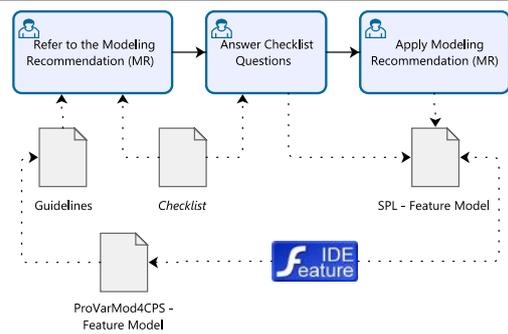


**GUI3. Cross-Cutting Aspects (CrossCuttingAspects)**

This parent abstract feature was modeled as optional and associated with three optional child abstract features **SingleVSCrossDomain**, **SingleVSCrossJurisdiction**, and **Governance**. These abstract features represent an essential cross between the child concrete features, which represent standards (**Standard**), legislations (**Legislation**), regulations (Regulation), and certifications (**Certification**). The features are optional. For example, an organization in the certification phase or is not able to certify the CPS over time.



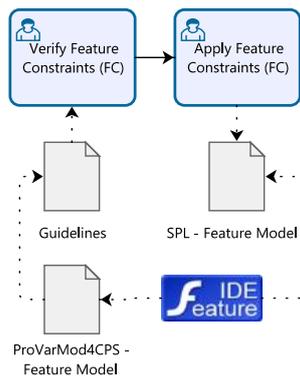
**GUI3. Cross-Cutting Aspects.**



### MR3. Modeling Recommendation

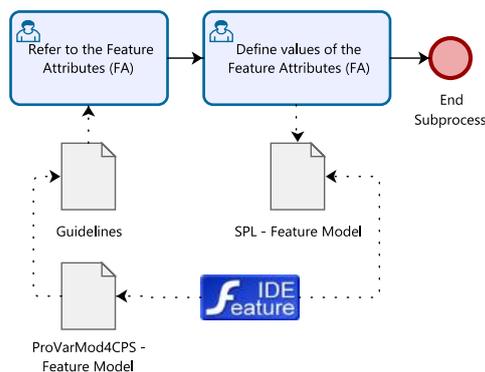
It is recommended to model jurisdiction aspects in different CPS domains (**SingleVSCrossJurisdiction**). It is recommended the adoption and description of Standards (**Standard**) OR Legislations (**Legislation**) through the representation of equivalent features and attributes in the CPS. These attributes are available in the **FA3** of this **OV.3**.

**Governance** is a way to efficiently improve CPS. It is recommended to model regulations (**Regulation**) OR certifications (**Certification**) to become the CPS more reliable.



### FC3. Feature Model Constraints

No constraints are specified for this **GUI3**. All features are optional. Child features have no constraints, which prevents redundancy in modeling.



### FA3. Feature Attributes

(i) `StandardName(String)` and `StandardType (String)`, are configurable attributes of the **Standard** feature. These attributes are assigned values of the *String* type. These attributes allow describing the name and type of the standard. For example, the name and description of one or several standards established by ISO (<http://www.iso.org>).

(ii) `LegislationName(String)` and `LegislationType (String)`, are configurable attributes of the **Legislation** feature. These attributes are assigned values of the *String* type. These attributes allow describing the name and type of legislation adopted depending on the organization of a country.

(iii) `RegulationName(String)` and `RegulationType(String)`, are configurable attributes of the **Regulation** feature. These attributes receive values of the *String* type. The attributes allow describing the name and type of regulation adopted depending on the institution.

(iii) `CertificationName(String)` and `CertificationType (String)`, are configurable attributes of the **Certification** feature. These attributes receive values of *String* type. These attributes allow describing the name and type of certification through evaluations made by evaluating institutions. For example, the AMASS project (<https://www.amass-ecsel.eu/>) aims to provide a low-cost certification in the context of CPS.

As diretrizes (*guidelines*) estão relacionadas com questões específicas em um *checklist*, guiando a modelagem de variabilidades com recomendações de melhoria (*MR. Modeling Recommendations*) em conjunto com o artefato *ProVarMod4CPS - Feature Model* (Seção 5.2). A próxima seção apresenta a estrutura e um exemplo de aplicação do artefato *Checklist* do ProVarMod4CPS.

#### 5.4 Artefato: Elaboração do *Checklist*

O  *Checklist* pode facilitar a aplicação do ProVarMod4CPS por meio de questões associadas à tarefa de recomendações de modelagem (*MR. Modeling Recommendations*). As recomendações estão associadas ao artefato  *Guidelines* para guiar os especialistas ( *Roles*) durante a modelagem na prática das TVs e OVs. Assim, os especialistas podem utilizar cada questão para verificar as principais características de SCF no artefato  *SPL - Feature Model* com o objetivo de melhorá-lo. As etapas para a elaboração desta *checklist* como artefato são discutidas também na subseção 4.3.3.4 no CAPÍTULO 4.

As questões da *checklist* têm alternativas “**Sim**” (**Yes**) ou “**Não**” (**No**) para capturar as respostas dos especialistas. Após os especialistas realizarem a leitura das questões e responderem “**Sim**” ou “**Não**”, um campo criado na *checklist* permite que ao especialista(as) “**Descrever a situação atual**” (***Describe the current situation***) sobre a modelagem de variabilidades (TVs ou OVs).

O campo “**Descrever a situação atual**” permite que o especialista descreva sua modelagem atual. Após isso, o especialista deve consultar o campo com recomendações de modelagem (MR), o qual apresenta caminhos de melhoria para  *SPL - Feature Model*. O campo é utilizado em conjunto com as diretrizes (*guidelines*) imperativas do ProVarMod4CPS. Assim, os especialistas podem consultar o campo MR para comparar com o campo “**Descrever a situação atual**” e melhorar sua modelagem no artefato  *SPL - Feature Model* (por exemplo, SPL Arable Farming).

O campo MR tem recomendações pré-definidas sobre “**o que**” deve ser ajustado por meio da modelagem estabelecida nas TVs e OVs. Com base no conhecimento do especialista é possível estabelecer quais melhorias se aplicam ou são adequadas durante a modelagem. Estes MRs são úteis para apresentar recomendações e guiar os especialistas na modelagem de variabilidades com a finalidade de melhorar continuamente o artefato  *SPL - Feature Model*.

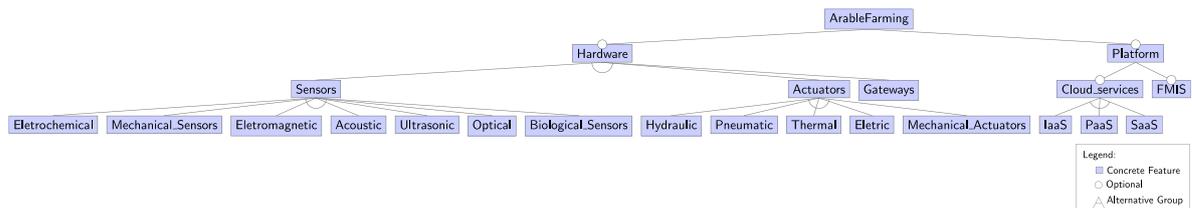
A SPL Arable Farming (NISPEN, 2018) foi utilizada como um artefato  *SPL - Feature Model* para ilustrar o artefato  *Checklist* na prática no domínio da agricultura. A condução de dois estudos de caso por Nispen (2018) permitiram a modelagem da SPL Arable Farming ( *SPL - Feature Model*), organizada em quatro categorias de características: *Hardware*, *Communication*, *Software (Platform)* e *Services*. Um exemplo de aplicação da *checklist* é apresentado na Tabela 23, aplicando a diretriz

(*guideline*) TV.6. *Cyber-Physical Systems (CPS) Components* em um trecho modelado da SPL Arable Farming (Figura 41). Assim, a TV.6. exemplifica a aplicação da *checklist* por meio da modelagem das características de *Hardware* e *Platform* da SPL Arable Farming. A Tabela 23 e a Figura 41 apresentam, em conjunto, um exemplo de aplicação do artefato  *Checklist* utilizando a SPL Arable Farming.

**Tabela 23. Exemplo de aplicação da *Checklist* - TV.6. *Cyber-Physical Systems (CPS) Components*.**

TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components	Opções de respostas		
	Sim	Não	Descrever a situação atual
<b>Q6.1.</b> As partes <b>Cyber</b> e <b>Physical</b> foram modeladas no SCF?	X	-	SPL Arable Farming tem características modeladas como componentes nas partes <b>Cyber (Platform, FMIS, e SaaS)</b> e <b>Physical (Hardware, Sensors, e Actuators)</b> .
<b>Q6.2.</b> A parte <b>Cyber</b> está invisível no SCF?	-	X	A características <b>FMIS</b> é visível na modelagem como uma característica opcional ( <i>optional</i> ).
<b>Q6.3.</b> Existem Sistemas Embarcados ( <b>EmbeddedSystems</b> ) OR Sistemas de TI ( <b>ITSystems</b> ) vulneráveis a ataques?	X	-	A característica <b>FMIS</b> é vulnerável a ataques, uma vez que faltam características de segurança.
<b>Q6.4.</b> A parte <b>Physical</b> tem tipos de <b>Hardware? Sensors</b> OR <b>Actuators</b> OR <b>AnalogDevices</b> ?	X	-	O SCF tem vários tipos de <b>Sensors</b> e <b>Actuators</b> selecionados como alternativas.
<b>Q6.5.</b> Há características modeladas no SCF, as quais especificam a cobertura de sensoriamento embarcado ou móvel ( <b>EmbeddedMobileSensing</b> )?	-	X	A cobertura não está especificada precisamente, mas apenas o tipo de sensor ou tipo de comunicação. Por exemplo, <b>4G</b> .
<b>Q6.6.</b> Existem características para representar o mecanismo de controle de feedback ( <b>FeedbackControlPhysicalWorld</b> ) dos <b>Sensors</b> OR <b>Actuators</b> ?	-	X	O mecanismo não foi modelado na SPL Arable Farming.

**MR6. Modeling Recommendation - Guidelines (Tabela 8 e Tabela 9) - Apêndice A.2 (Tabela 40).**



**Figura 41. Trecho da LPS Arable Farming (NISPEN, 2018) para ilustrar a TV.6. *Cyber-Physical Systems (CPS) Components* na *checklist* (Tabela 23 (tabela anterior)).**

O artefato  *Checklist* não foi avaliado na íntegra em experimento. Entretanto, a *checklist* é apresentada com exemplos da SPL Arable Farming no Apêndice A.2.

Por fim, após o detalhamento dos artefatos, a Figura 42 apresenta uma síntese gráfica dos artefatos associados com o subprocesso ProVarMod4CPS. A SPL Arable Farming é associada como exemplo de aplicação do artefato  *SPL - Feature Model*.

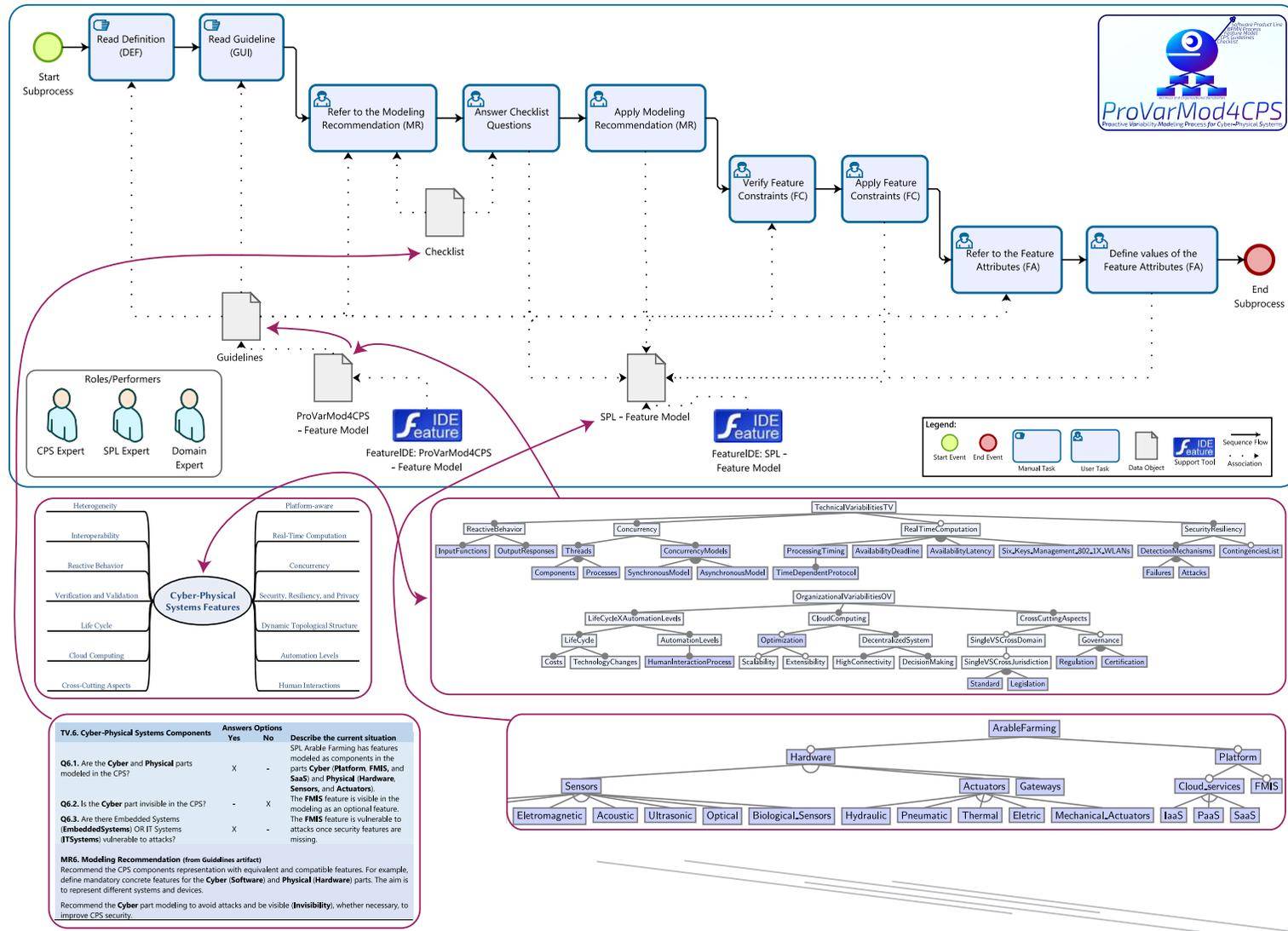


Figura 42. Relações dos artefatos contidos no Subprocesso do ProVarMod4CPS.

## **5.5 Considerações sobre o capítulo**

Este capítulo apresentou o ProVarMod4CPS e seus artefatos para a modelagem de variabilidades das principais características de SCF. Um processo proativo foi desenvolvido para posicionar e permitir apresentar em detalhes os artefatos e o subprocesso do ProVarMod4CPS.

O CAPÍTULO 6 e CAPÍTULO 7 apresentam avaliações empíricas qualitativas respondidas por especialistas em LPS referente ao ProVarMod4CPS e seus artefatos. As avaliações permitiram avaliar a viabilidade e melhorar o ProVarMod4CPS e seus artefatos a fim de garantir sua melhoria contínua e evolução ao longo do tempo.

## CAPÍTULO 6 - AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da avaliação do uso dos artefatos preliminares Diretrizes (*Guidelines*) e o *Feature Model* com a participação de especialistas utilizando o TAM. De acordo com a seção 4.3.4.1, o objetivo desta avaliação é responder as seguintes questões: “**Você considera o conjunto inicial de diretrizes e o modelo de características (*feature model*) como artefatos preliminares fáceis de utilizar e úteis?; Quais são suas intenções de utilização desses artefatos no futuro?**”. Os resultados são apresentados e discutidos conforme a ordem: nível de conhecimento dos especialistas, análise e interpretação dos resultados obtidos e ameaças à validade desta avaliação.

### 6.1 Nível de conhecimento dos especialistas

A Tabela 24 apresenta os dados de cada especialista que participou desta avaliação conforme a ordem em que os dados foram enviados por meio do formulário eletrônico elaborado no Google Forms.

Tabela 24. Dados de Perfil dos Especialistas desta Avaliação.

Id	Formação	Setor de Atuação	Experiência na Área	Experiência com SCF	Experiência com LPS e GV	Experiência com <i>Feature Model</i>
<b>Projeto Piloto com Especialistas (N = 3)</b>						
1	Doutor	Industrial	18 anos	Já lí, de forma superficial, algo sobre SCF.	Avançada	Avançada
2	Doutor	Acadêmico	16 anos	Básica	Avançada	Avançada
3	Doutor	Acadêmico	30 anos	Básica	Avançada	Moderada
<b>Avaliação com Especialistas (N = 8)</b>						
4	Doutorando	Acadêmico	6 anos	Básica	Avançada	Avançada
5	Doutor	Acadêmico	20 anos e 6 meses	Já lí, de forma superficial, algo sobre SCF.	Avançada	Moderada

6	Doutor	Ambos	10 anos	Já lí, de forma superficial, algo sobre SCF.	Avançada	Avançada
7	Doutorando	Ambos	10 anos	Moderada	Moderada	Moderada
8	Doutor	Ambos	31 anos	Avançada	Básica	Básica
9	Doutorando	Acadêmico	7 anos	Moderada	Avançada	Avançada
10	Doutor	Acadêmico	10 anos	Já lí, de forma superficial, algo sobre SCF.	Avançada	Moderada
11	Doutor	Acadêmico	20 anos	Já lí, de forma superficial, algo sobre SCF.	Avançada	Avançada
<b>Moda</b>						
	Em Nível de Doutorado	Acadêmico	16 anos (em média)	Já lí, de forma superficial, algo sobre SCF.	Avançada	Avançada

Ao observar a Tabela 24, os especialistas possuem um conhecimento superficial em SCF, avançado em LPS e *Feature Model*. Independente da experiência, todos os especialistas realizaram todas as etapas do formulário eletrônico referente a esta avaliação.

Dentre os três especialistas que participaram do projeto piloto, o primeiro especialista trabalha na indústria e os outros dois especialistas atuam no ambiente acadêmico. Todos os especialistas do projeto piloto são doutores e têm experiência avançada em LPS, GV e *Feature Model* com cerca de 20 anos de experiência (em média). Contudo, esses especialistas possuem um baixo conhecimento sobre SCF.

Em relação aos especialistas efetivos desta avaliação, quatro doutores possuem um conhecimento avançado em LPS e GV, sendo que cinco destes doutores têm um conhecimento moderado/avançado sobre *Feature Model*. Em sua maioria, os doutores atuam no meio acadêmico, sendo que, dois doutores trabalham também na indústria. Apesar do conhecimento significativo dos doutores em LPS, GV e *Feature Model*, a maioria possui um baixo conhecimento em SCF. Somente um doutor possui conhecimento avançado em SCF e básico nos outros temas com 31 anos de experiência.

Tendo em vista pesquisas recentes em ambas as áreas, três doutorandos foram considerados para esta avaliação. Um doutorando atua no ambiente acadêmico e na indústria com conhecimento moderado em todos os temas, inclusive em SCF. Há dois doutorandos que conduzem pesquisas em LPS, GV e *Feature Model* no ambiente acadêmico e têm conhecimento avançado em ambos os temas, mas com pouco conhecimento em SCF. Os doutorandos conhecem e trabalham com os temas há cerca de 7 anos (em média).

Mesmo considerando o conhecimento restrito dos especialistas sobre SCF, todos os especialistas contribuíram significativamente para a melhoria dos artefatos avaliados neste estudo. Acredita-se que o conhecimento adequado e tempo de experiência dos especialistas sobre LPS, GV e *Feature Model*, permitiram obter resultados úteis para a melhoria contínua desta pesquisa. A partir do *feedback* dos especialistas, os resultados obtidos são analisados e interpretados na próxima seção.

## 6.2 Análise e interpretação dos resultados

Com a análise das respostas de múltipla escolha utilizando a Codificação Magnitude foi possível obter respostas sobre o quanto os especialistas concordam em relação ao uso geral (baseado no TAM) dos artefatos preliminares Diretrizes e o *Feature Model*. As questões de múltipla escolha estão no Apêndice B.4.

Os resultados da análise das respostas dos especialistas foram positivos, mas não têm capacidade suficiente para a generalização do uso dos artefatos. Entretanto, o teste de confiabilidade *Cronbach's Alpha* foi calculado para medir a consistência interna da escala das questões de múltipla escolha conforme as respostas coletadas dos especialistas que participaram do projeto piloto (Tabela 25) e da avaliação efetiva deste estudo (Tabela 26).

**Tabela 25. Teste *Cronbach's Alpha* - Projeto Piloto.**

<b>Especialista Id #:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Facilidade de Uso - <i>Ease of Use</i> (E)</b>			
E1. Os artefatos Diretrizes e o <i>Feature Model</i> são claros e compreensíveis.	5	5	7
E2. Interagir com esse <i>Feature Model</i> e interpretar suas Diretrizes não requer muito esforço cognitivo (mental).	6	5	6
E3. É fácil aprender como utilizar as Diretrizes e o <i>Feature Model</i> associado.	7	6	7
E4. Acho fácil utilizar essas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> para fazer o que eu quero.	5	6	6
<b>Utilidade - <i>Usefulness</i> (U)</b>			

U1. A utilização dessas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> melhorou meu desempenho para modelar variabilidades em SCF.	5	7	6
U2. A utilização dessas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> melhorou minha produtividade para modelar variabilidades em SCF.	6	7	6
U3. A utilização dessas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> pode aumentar minha eficácia para modelar variabilidades em SCF.	4	6	7
U4. Eu considero que as Diretrizes e o <i>Feature Model</i> são úteis para a modelar variabilidades em SCF.	6	7	7
<b>Intenção de Uso - <i>Intention of Use</i> (I)</b>			
I1. Supondo que tenho tempo suficiente para projetar um SCF, eu utilizaria essas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> .	5	6	7
I2. Levando em consideração que eu tenho o domínio para escolher qualquer tecnologia para projetar um SCF, eu prevejo que utilizarei essas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> .	6	6	7
<b>Legenda</b>	<b>Escala TAM (Likert)</b>		
Discordo Totalmente	1		
Discordo Fortemente	2		
Discordo Parcialmente	3		
Eu não Discordo e Eu não Aceito	4		
Aceito Parcialmente	5		
Aceito Fortemente	6		
Aceito Totalmente	7		
<b>Teste de Confiabilidade do Questionário utilizando TAM</b>			
Se <i>Cronbach</i> $\alpha \geq 0,8$ os valores são confiáveis (Válido)			
<b><i>Cronbach's Alpha</i> (<math>\alpha</math>) - Válido N = 3</b>			<b>0,83</b>
<i>Standardized Alpha</i> ( $\alpha$ ) - Válido N = 3			0,80

Tabela 26. Teste *Cronbach's Alpha* - Avaliação efetiva.

<b>Especialista Id #:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Facilidade de Uso - <i>Ease of Use</i> (E)</b>								
E1. O artefato Diretrizes e o <i>Feature Model</i> são claros e compreensíveis.	4	4	4	5	4	4	4	4
E2. Interagir com esse <i>Feature Model</i> e interpretar suas Diretrizes não requer muito esforço cognitivo (mental).	4	5	5	5	5	2	4	5
E3. É fácil aprender como utilizar as Diretrizes e o <i>Feature Model</i> associado.	4	5	4	3	4	3	5	5
E4. Acho fácil utilizar essas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> para fazer o que eu quero.	3	4	4	3	4	3	4	4
<b>Utilidade - <i>Usefulness</i> (U)</b>								
U1. A utilização dessas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> melhorou meu desempenho para modelar variabilidades em SCF.	3	4	3	4	4	3	5	5
U2. A utilização dessas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> melhorou minha produtividade para modelar variabilidades em SCF.	4	5	3	3	3	3	4	5
U3. A utilização dessas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> pode aumentar minha eficácia para modelar variabilidades em SCF.	3	5	3	5	4	3	4	4
U4. Eu considero que as Diretrizes e o <i>Feature Model</i> são úteis para a modelar variabilidades em SCF.	4	4	4	5	4	3	5	5

<b>Intenção de Uso - <i>Intention of Use</i> (I)</b>	
I1. Supondo que tenho tempo suficiente para projetar um SCF, eu utilizaria essas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> .	4 5 5 4 5 2 5 5
I2. Levando em consideração que eu tenho o domínio para escolher qualquer tecnologia para projetar um SCF, eu prevejo que utilizarei essas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> .	3 5 4 4 4 3 5 4
<b>Legenda</b>	<b>Escala TAM (<i>Likert</i>)</b>
Discordo Totalmente	1
Discordo Parcialmente	2
Eu não Discordo e Eu não Aceito	3
Aceito Parcialmente	4
Aceito Totalmente	5
<b>Teste de Confiabilidade do Questionário utilizando TAM</b>	
Se <i>Cronbach</i> $\alpha \geq 0,8$ os valores são confiáveis (Válido)	
<b><i>Cronbach's Alpha</i> (<math>\alpha</math>) - Válido N:8</b>	<b>0,89</b>
<i>Standardized Alpha</i> ( $\alpha$ ) - Válido N:8	0,88

Observando os valores calculados nos testes *Cronbach's Alpha* (Tabela 25 e Tabela 26), sendo  $\alpha \geq 0,8$  os valores são confiáveis (válidos), ambos os testes para o projeto piloto ( $\alpha = 0,83$ , para  $N = 3$ ) e a avaliação efetiva ( $\alpha = 0,89$ , para  $N = 8$ ) são confiáveis. Isso mostra que os resultados corroboram com indícios positivos sobre a aceitação do uso dos artefatos pelos especialistas, mesmo com uma amostra pequena de participantes.

Após a análise das questões de múltipla escolha (quantitativa), as questões abertas (qualitativas) foram analisadas e interpretadas. Com a realização do processo de Codificação Provisória nas questões abertas, os seguintes códigos e subcódigos refinados são representados em redes: Facilidade de Uso, Utilidade e Intenção de Uso Futuro – relacionados com o TAM; Aspectos Positivos - Diretrizes e Aspectos Positivos - Modelo de Características (*Feature Model*); Limitações - Diretrizes e Limitações - Modelo de Características (*Feature Model*); Recomendações de Melhoria, Recomendações de Uso; e Sugestões de Melhoria e Sugestões de Melhoria - Diretrizes.

Na sequência são apresentadas as codificações realizadas no projeto piloto (Seção 6.2.1) e na avaliação efetivas deste estudo (Seção 6.2.2), bem como os resultados analisados e interpretados com base nas questões do TAM permeando as representações das limitações, recomendações e sugestões dos especialistas sobre os artefatos Diretrizes e o *Feature Model*.

### 6.2.1 Análise do projeto piloto

As respostas dos três especialistas (N = 3) deste projeto piloto contribuíram para a melhoria da instrumentação do estudo e com a melhoria contínua dos artefatos avaliados. Esses resultados foram isolados do grupo de especialistas efetivos desta avaliação. Portanto, esta seção apresenta a análise e interpretação dos resultados obtidos do projeto piloto conduzido e baseado nas perspectivas do TAM como facilidade de uso, utilidade e intenção de uso. As questões abertas sobre o TAM e desta avaliação de viabilidade estão no Apêndice B.4.

Facilidade de Uso: Avalia a facilidade de uso dos artefatos preliminares Diretrizes e o *Feature Model* sob a percepção e esforço dos especialistas com base no TAM (Seção 4.1.5). Esta codificação fornece evidências de que esses artefatos podem ser fáceis de usar. A Figura 43 apresenta uma rede (criada no ATLAS.ti) com trechos de texto que representam a facilidade de uso dos artefatos e fazem parte deste processo de codificação.

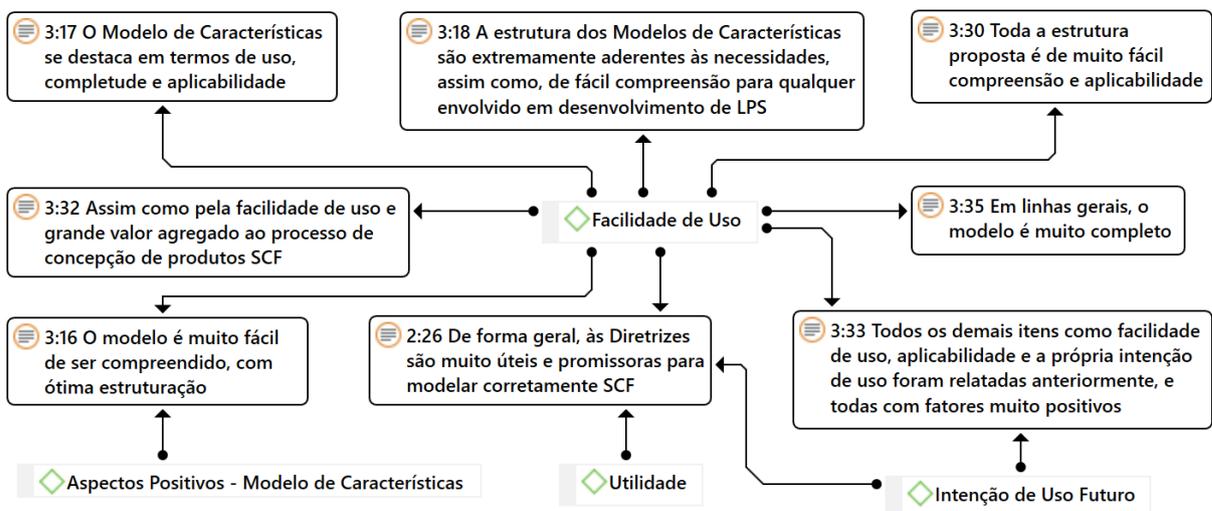


Figura 43. Rede com Associações à Codificação Facilidade de Uso - Projeto Piloto.

As respostas representadas na Figura 43 forneceram indícios de que existe Facilidade de Uso dos artefatos em relação a sua compreensão, aplicabilidade, completude e organização. Os especialistas Nº 2 e Nº 3 do projeto piloto acreditam que os artefatos são fáceis de usar. Esses fatores podem agregar valor na modelagem de variabilidades em SCF para especialistas em LPS.

Utilidade: Avalia se as Diretrizes e o *Feature Model* são úteis para serem adotados ou adaptados em projetos no meio acadêmico ou na indústria de acordo

com o TAM. Foram identificados indícios nas respostas dos especialistas de que os artefatos são úteis para os especialistas N° 2 e N° 3 (Figura 44). Tais especialistas utilizariam os Diretrizes e o *Feature Model*.

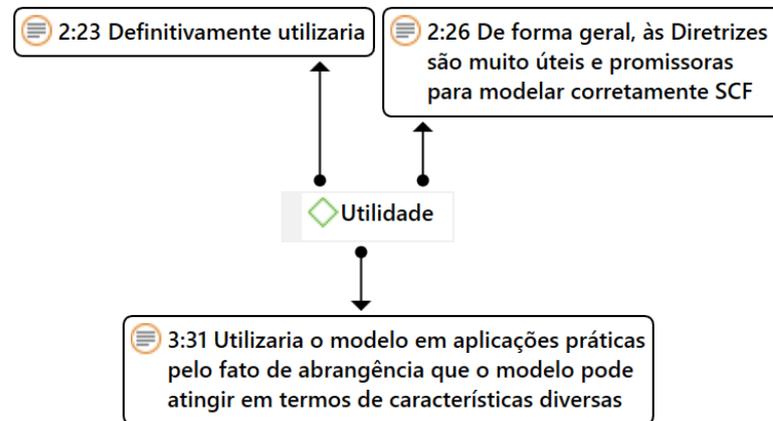


Figura 44. Rede com Associações à Codificação Utilidade - Projeto Piloto.

Intenção de Uso Futuro: Avalia se os especialistas têm intenção de utilizar os artefatos no futuro em pesquisas no meio acadêmico ou em projetos da indústria. A Figura 45 apresenta as redes com trechos de respostas sobre a Intenção de Uso Futuro dos artefatos pelos especialistas. É possível observar a representação dos códigos Facilidade de Uso, Utilidade e Aspectos Positivos (Figura 45), que podem ajudar a justificar a Intenção de Uso Futuro dos artefatos.

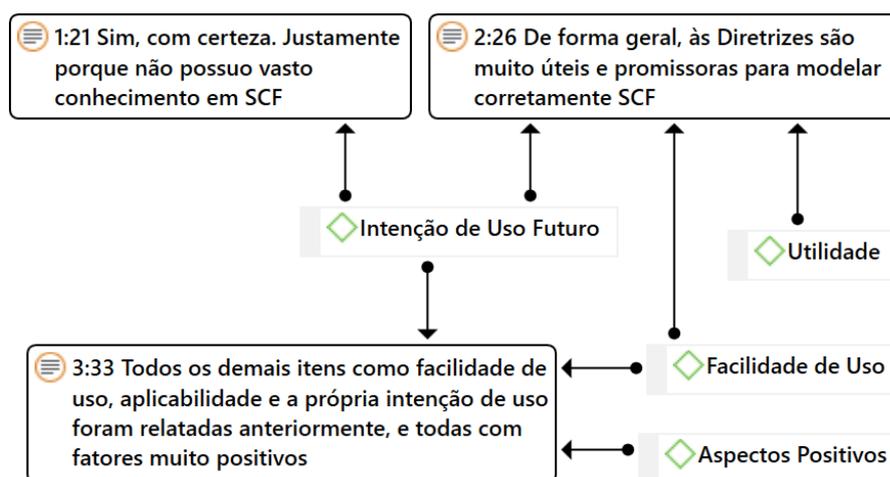


Figura 45. Rede com Associações à Codificação Intenção de Uso Futuro - Projeto Piloto.

Aspectos Positivos: Este código apresenta os pontos positivos das diretrizes (Aspectos Positivos - Diretrizes) e do *Feature Model* (Aspectos Positivos - Modelo de

Características (Feature Model)). Os aspectos positivos são identificados em trechos de texto analisados das respostas dos especialistas nas redes representadas na Figura 46 e na Figura 47.

Observando os Aspectos Positivos do projeto piloto na Figura 46, os artefatos auxiliam os especialistas a identificarem características e inconsistências em SCF. Os códigos Facilidade de Uso e Intenção de Uso Futuro podem ser visualizados na Figura 46 como fatores positivos relacionados ao código Aspectos Positivos.

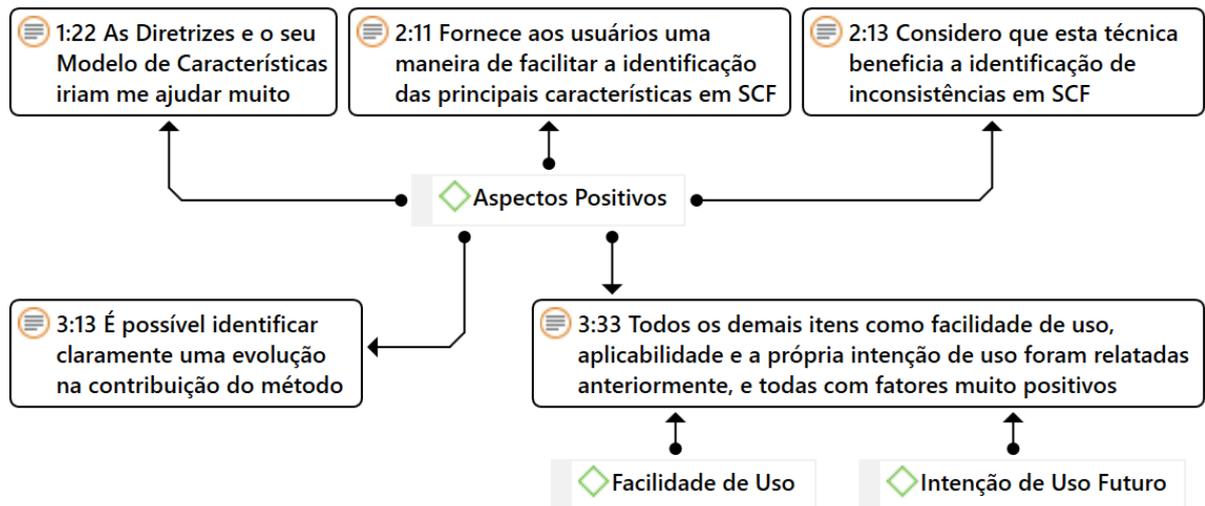


Figura 46. Rede com Associações à Codificação Aspectos Positivos - Projeto Piloto.

Na Figura 47, a produtividade das diretrizes foi mencionada como um ponto positivo pelo especialista N<sup>o</sup> 2, a qual representa a codificação Aspectos Positivos - Diretrizes.

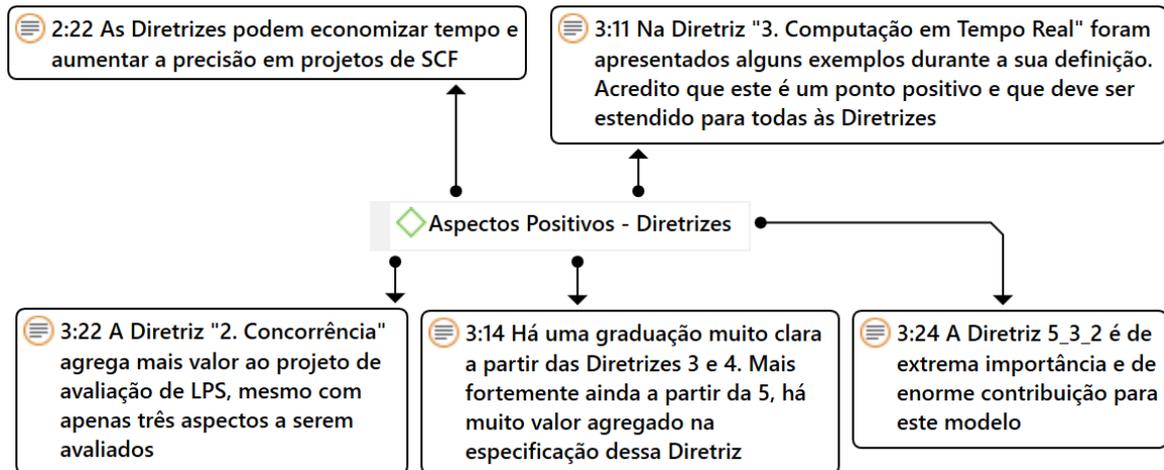


Figura 47. Rede com Associações à Codificação Aspectos Positivos - Diretrizes - Projeto Piloto.

Analisando a Figura 47, as diretrizes **2. Concorrência**, **3. Computação em Tempo Real**, **4. Segurança e Resiliência** e **5. Aspectos Técnicos** foram avaliadas e recomendadas positivamente pelo especialista Nº 3. Tal especialista ressalta a importância de exemplos relacionados a apresentação das diretrizes. Exemplos podem favorecer a adoção das diretrizes em projetos de SCF. As diretrizes apontadas pelo especialista Nº 3 foram melhoradas e são apresentadas no CAPÍTULO 5 como um artefato contido no ProVarMod4CPS. O especialista Nº 1 não apresentou sua opinião em relação aos Aspectos Positivos - Diretrizes.

A Figura 48 contém a codificação dos Aspectos Positivos - Modelo de Características (Feature Model).

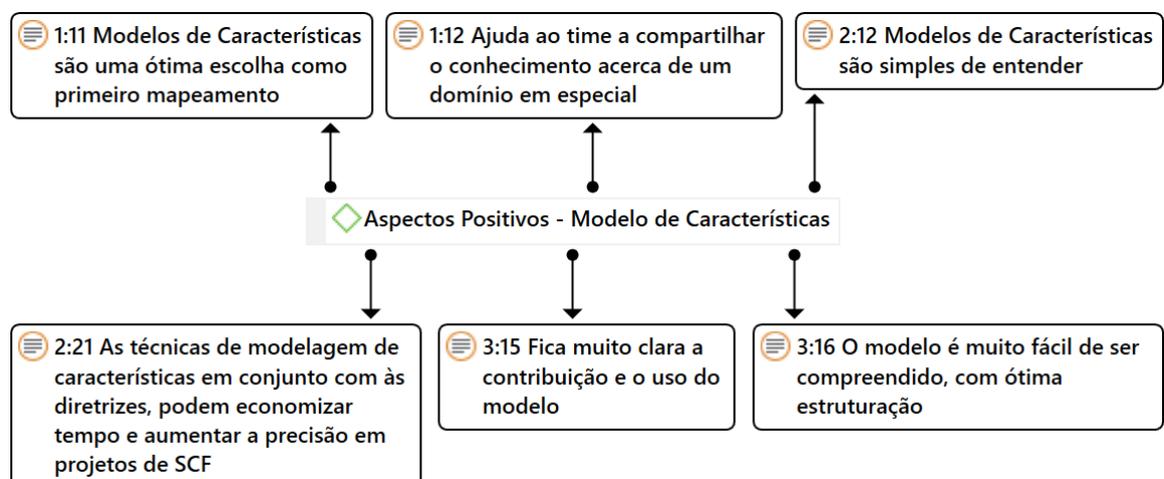


Figura 48. Rede com Associações à Codificação Aspectos Positivos - Modelo de Características (Feature Model)- Projeto Piloto.

O especialista N° 1 apresenta em seus comentários que o Modelo de Características (*Feature Model*) pode ajudar a mapear e compartilhar o domínio de uma área de conhecimento em SCF. Neste sentido, o ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 5) e seu *Feature Model* foram avaliados nos domínios da agricultura e cidades inteligentes (CAPÍTULO 7). O especialista N° 2 observou que o *Feature Model* é simples de entender e pode ser produtivo. Em adição, o especialista N° 3 também acredita que o modelo é de fácil entendimento. Esses comentários motivaram a melhoria do modelo que vislumbra ser aplicado em projetos da indústria em trabalhos futuros (Seção 8.4).

Embora os Aspectos Positivos identificados em relação aos artefatos podem oportunizar sua adoção e ajudar especialistas, esses artefatos também têm Limitações codificadas e explicitadas a partir das respostas dos especialistas. Essas Limitações foram minimizadas com as Recomendações e Sugestões de Melhorias codificadas por meio a partir das respostas dos especialistas.

Limitações: Abrange a codificação das respostas dos especialistas sobre as limitações identificadas nos artefatos Diretrizes e o *Feature Model*. A Figura 49 representa as Limitações - Diretrizes e a Figura 50 representa as Limitações - Modelo de Características (*Feature Model*).

Limitações - Diretrizes: Na Figura 49, uma limitação importante é explicitada pelo especialista N° 1, referente a especificação das diretrizes que utiliza apenas a análise de domínio baseada na literatura. Assim, deduz-se que o especialista N° 1 também não aceita a produtividade do artefatos em times com experiência. Para garantir melhor produtividade, as diretrizes devem ser imperativas, conforme as respostas do especialista N° 2. A descrições das diretrizes foram melhoradas no artefato Diretrizes do ProVarMod4CPS no CAPÍTULO 5, bem como a modelagem e a especificação das diretrizes **1. Computação Reativa** e **3. Computação em Tempo Real** foram analisadas novamente, conforme as limitações apontadas pelo especialista N° 3.

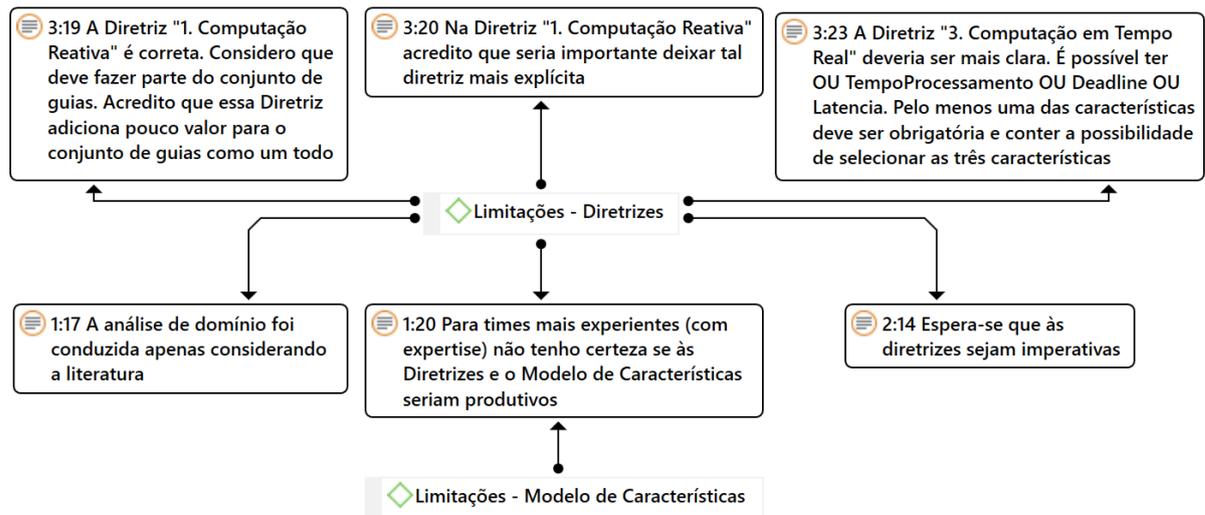


Figura 49. Rede com Associações à Codificação Limitações - Diretrizes - Projeto Piloto.

Limitações - Modelo de Características (Feature Model): A Figura 50 apresenta as respostas dos especialistas N<sup>o</sup> 1 e 2.

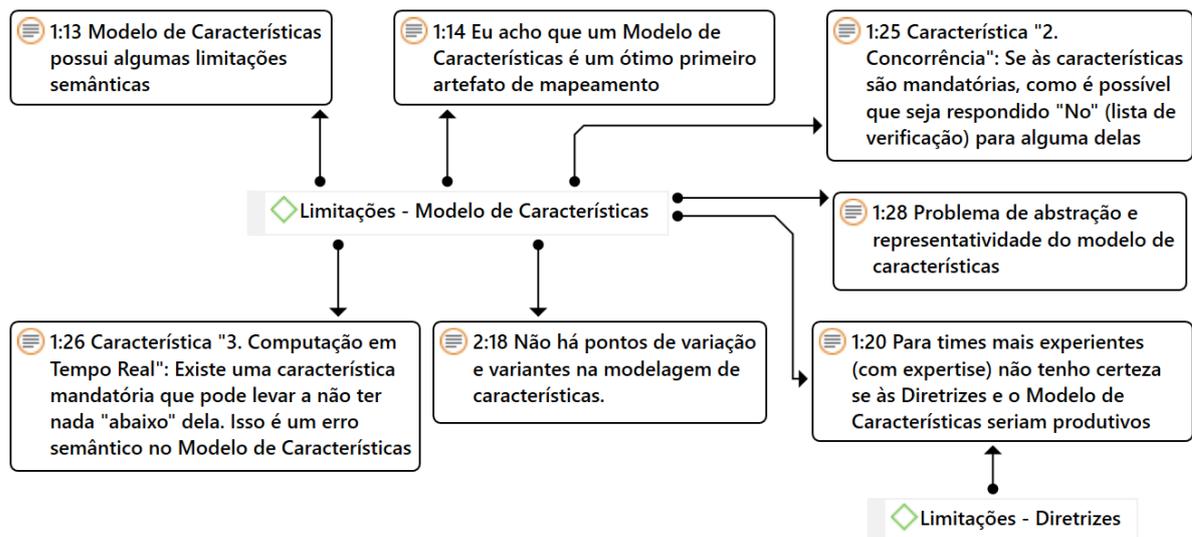


Figura 50. Rede com Associações à Codificação Limitações - Modelo de Características (Feature Model) - Projeto Piloto.

Analisando a Figura 50, o especialista N<sup>o</sup> 1 menciona que o *Feature Model* possui limitações semânticas e pode ser útil para um mapeamento inicial, apesar do problema de abstração do modelo representado em formato de árvore. Restrições (*constraints*) foram especificadas no *Feature Model* do ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 5) para minimizar o impacto de problemas semânticos, mesmo sendo um problema de representação recorrente em modelos dessa natureza.

Observando a resposta do especialista N° 2, um mecanismo com pontos de variação poderá ser especificado como trabalhos futuros (Seção 8.4) com a finalidade de otimizar a abstração do modelo, o que pode facilitar a modelagem de variantes em SCF. Além disso, as diretrizes **2. Concorrência** e **3. Computação em Tempo Real** foram revisadas em relação a sua representação e, agora, são mais imperativas conforme as alterações realizadas nos artefatos atualizados no CAPÍTULO 5.

Várias Recomendações de Uso e Recomendações de Melhoria positivas para os artefatos são mencionadas pelos especialistas deste projeto piloto e representadas na Figura 51 e na Figura 52.

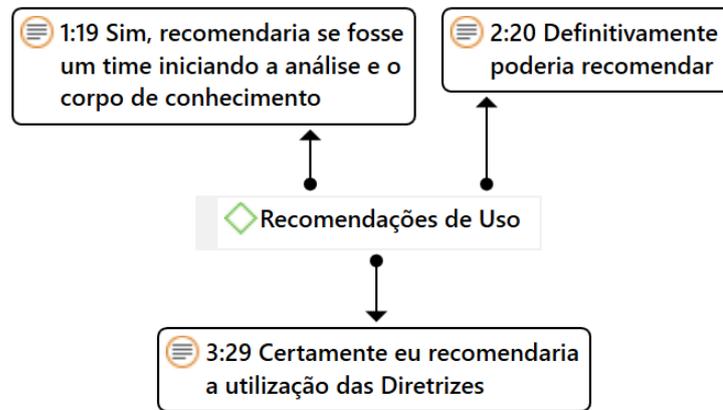


Figura 51. Rede com Associações à Codificação Recomendações de Uso - Projeto Piloto.

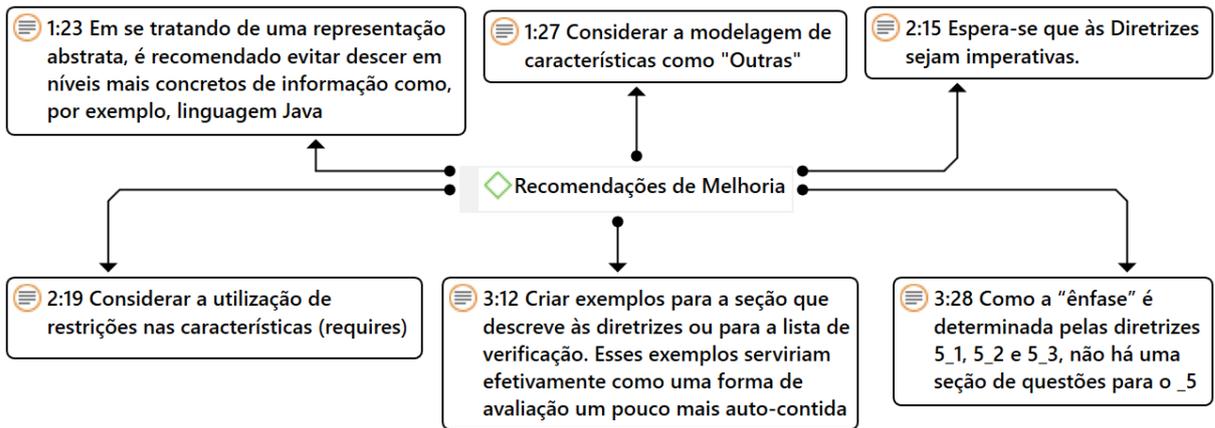


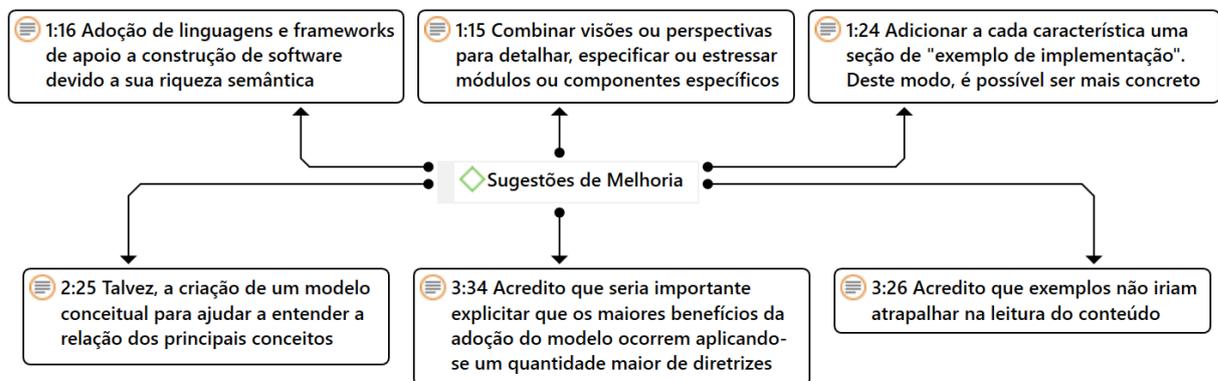
Figura 52. Rede com Associações à Codificação Recomendações de Melhoria - Projeto Piloto.

Os especialistas N° 1, 2 e 3 fazem Recomendações de Uso dos artefatos em análises iniciais para novos projetos em SCF. Quanto as Recomendações de Melhoria, o especialista N° 1 recomenda minimizar as características concretas e

considerar “*outras*” características para melhorar a abstração do *Feature Model*. O especialista N° 2 recomenda a representação de diretrizes imperativas e a especificação de restrições nas características como, por exemplo, *requires* (dependência). O especialista N° 3 recomenda a criação de exemplos para facilitar a utilização das diretrizes a fim de melhorar a organização do conjunto de diretrizes referente as diretrizes **5. Aspectos Técnicos**.

As recomendações dos especialistas foram consideradas e realizadas nos artefatos: as características foram revisadas, minimizadas e estão mais imperativas; restrições (*constraints*) foram especificadas para validar as modelagens; e exemplos são mencionados na descrição das diretrizes no artefato Diretrizes apoiado por um *checklist* com exemplos no domínio da agricultura. O CAPÍTULO 5 apresenta todas essas atualizações realizadas nos artefatos.

Sugestões de Melhoria: São elencadas pelos especialistas e representadas na Figura 53. As sugestões foram exploradas em conjunto com as Recomendações de Uso, Recomendações de Melhoria e as necessidades em relação a evolução dos artefatos.



**Figura 53. Rede com as Associações à Categoria Sugestões de Melhoria - Projeto Piloto.**

Na Figura 53, o especialista N° 1 sugere a utilização de tecnologias e combinação de diferentes perspectivas para desenvolvimento de componentes em SCF. A especificação de exemplos para a implementação das características para os artefatos é sugerida pelos especialistas N° 1 e 3. O especialista N° 3 também sugere mostrar como a aplicação das diretrizes pode beneficiar o projetista em SCF.

Conforme as sugestões dos especialistas, os exemplos de implementação foram criados e podem ser consultados no CAPÍTULO 5. Um modelo conceitual inicial

foi criado, mas modificado para um processo de instanciação guiada chamado ProVarMod4CPS e, tem os artefatos conforme sugestão do especialista N° 2. O ProVarMod4CPS e seus artefatos são apresentados no CAPÍTULO 5.

A Figura 54 representa as Sugestões de Melhoria - Diretrizes por meio das respostas dos especialistas. Os especialistas N° 2 e 3 sugerem a criação de exemplos para as diretrizes e as questões da *checklist* (CAPÍTULO 5).

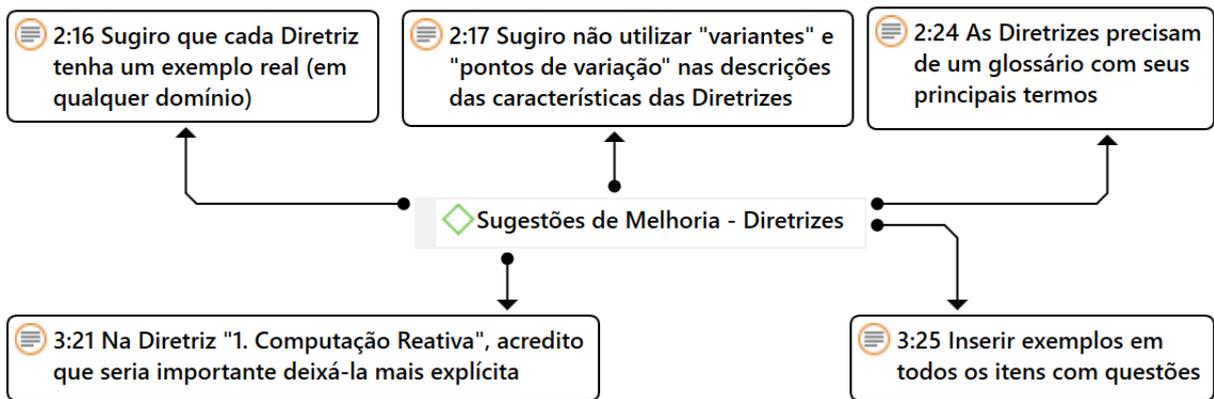


Figura 54. Rede com as Associações à Categoria Sugestões de Melhoria - Diretrizes - Projeto Piloto.

Observando a Figura 54, o especialista N° 2 sugere não utilizar os termos “*variantes*” e “*pontos de variação*”, bem como sugere a criação de um glossário com os principais termos utilizados nos artefatos. Os termos “*variantes*” e “*pontos de variação*” foram removidos das descrições das diretrizes (CAPÍTULO 5). A criação de um mecanismo semiautomatizado será investigada como trabalhos futuros para modelar variabilidades em SCF por meio de variantes e pontos de variação. Um glossário não foi criado para evitar a extensão dos artefatos (tamanho) e a repetição de termos que poderia ocorrer nos artefatos. Assim, no artefato diretrizes os termos como, por exemplo, “interoperabilidade” já estão definidos implicitamente nas diretrizes associadas.

O especialista N° 3 sugere explicitar a diretriz **1. Computação Reativa** com o objetivo de facilitar sua utilização no futuro. A diretriz foi revisada na última versão desenvolvida do artefato Diretrizes no CAPÍTULO 5.

## 6.2.2 Análise da avaliação

Esta seção apresenta a análise e interpretação dos resultados da avaliação efetivas com oito especialistas (N = 8), a qual foi conduzida e baseada nas perspectivas do TAM como facilidade de uso, utilidade e intenção de uso. Todas as questões abertas sobre o TAM e desta avaliação de viabilidade podem ser consultadas no Apêndice B.4. Os resultados desta avaliação foram isolados do grupo de especialistas do projeto e foram analisados separadamente.

Facilidade de Uso: A Figura 55 representa respostas com indícios de que existe facilidade de uso dos artefatos Diretrizes e *Feature Model* em relação ao seu entendimento, visualização gráfica (*Feature Model*) e organização. As respostas dos especialistas Nº 4, 5 e 8 apresentam indícios positivos sobre a Facilidade de Uso desses artefatos. Os outros especialistas não se manifestaram sobre a Facilidade de Uso. Esses indícios motivam a evolução da modelagem de variabilidades em SCF.

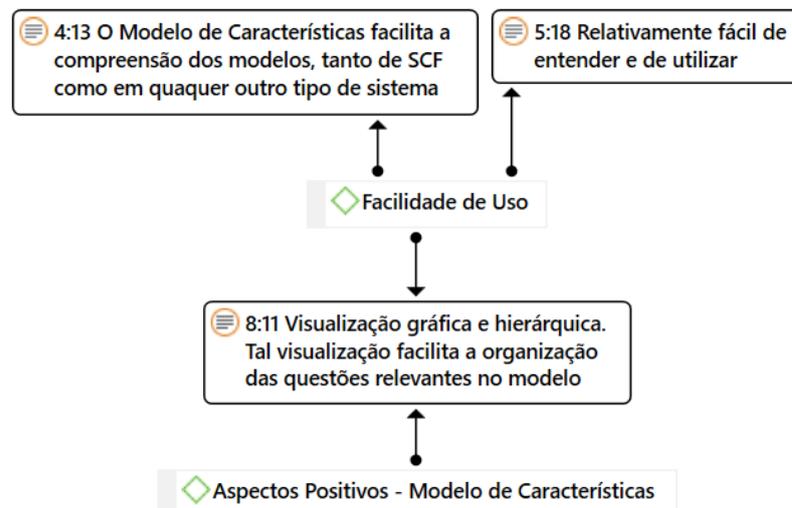
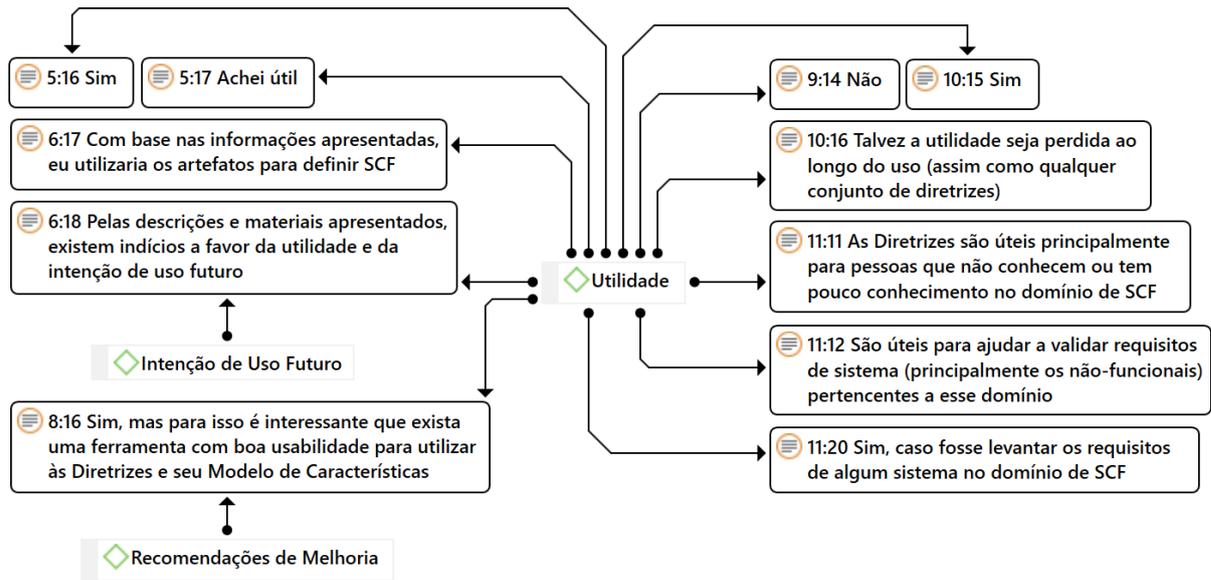


Figura 55. Rede com Associações à Codificação Facilidade de Uso - Especialistas.

Os subcódigos Aspectos Positivos - Modelo de Características (*Feature Model*), Intenção de Uso Futuro e Utilidade serão discutidos nos próximos parágrafos.

A Utilidade pode ser justificada positivamente visto que a maioria dos especialistas concordaram que os artefatos Diretrizes e *Feature Model* podem ser úteis. Observando os trechos das respostas do especialista Nº 11 na Figura 56, os artefatos podem ser úteis para compreender o domínio e validar requisitos em SCF.



**Figura 56. Rede com Associações à Codificação Utilidade - Especialistas.**

Analisando a Figura 56, o especialista N° 8 acredita na Utilidade dos artefatos caso exista alguma ferramenta que favoreça sua utilização. Uma ferramenta pode ser desenvolvida como trabalhos futuros desta pesquisa (Seção 8.4). Essa última resposta foi codificada também como Recomendações de Melhoria para os artefatos. As recomendações serão apresentadas no decorrer deste capítulo.

O especialista N° 9 não acredita na Utilidade dos artefatos. O especialista N° 10 considera que a Utilidade prática dos artefatos pode desaparecer ao longo do tempo e, como consequência, os artefatos podem não se tornarem mais úteis. A Utilidade dos artefatos também será avaliada em trabalhos futuros na indústria (Seção 8.4) com o objetivo de torná-los mais práticos e úteis ao longo do tempo. Os trechos das respostas codificados do especialista N° 6 na Figura 56 são favoráveis a Utilidade e a Intenção de Uso Futuro das Diretrizes e do *Feature Model*.

O código Intenção de Uso Futuro é representado na Figura 57. As respostas obtidas dos especialistas sobre a Intenção de Uso Futuro dos artefatos foram sucintas com indícios positivos de uso em novos projetos. As respostas dos especialistas N° 6 e 8 corroboram com o código Intenção de Uso Futuro. Os outros especialistas não se manifestaram em relação a Intenção de Uso Futuro dos artefatos.

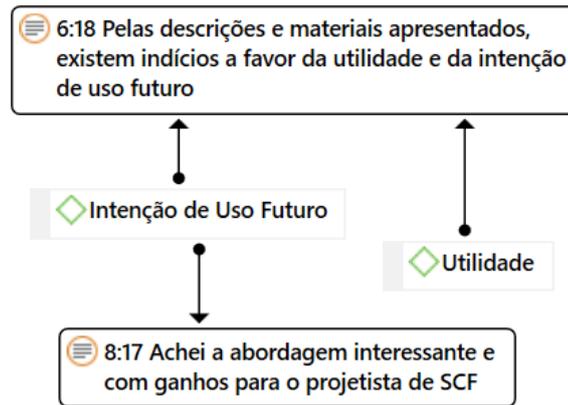


Figura 57. Rede com Associações à Codificação Intenção de Uso Futuro - Especialistas.

Aspectos Positivos: As próximas redes (Figura 58 e Figura 59) contêm as respostas dos especialistas N° 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10. Essas respostas motivaram a melhoria contínua dos artefatos Diretrizes e *Feature Model* no ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 5).

A Figura 58 representa os Aspectos Positivos - Diretrizes.

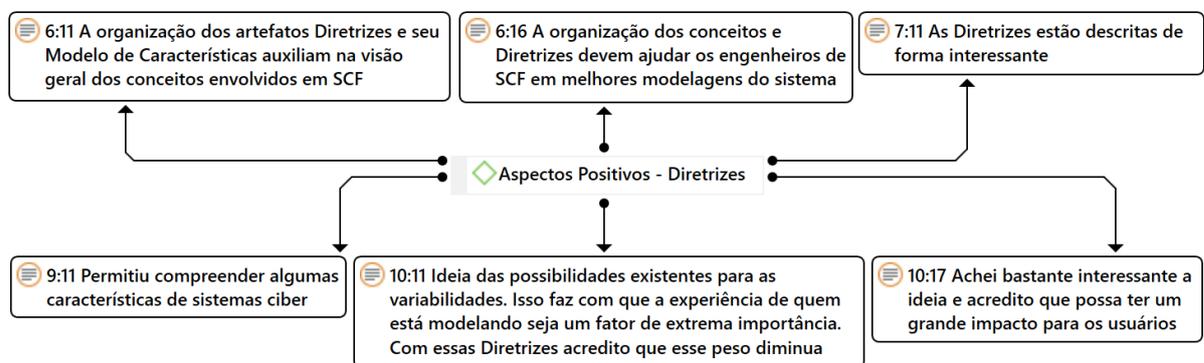
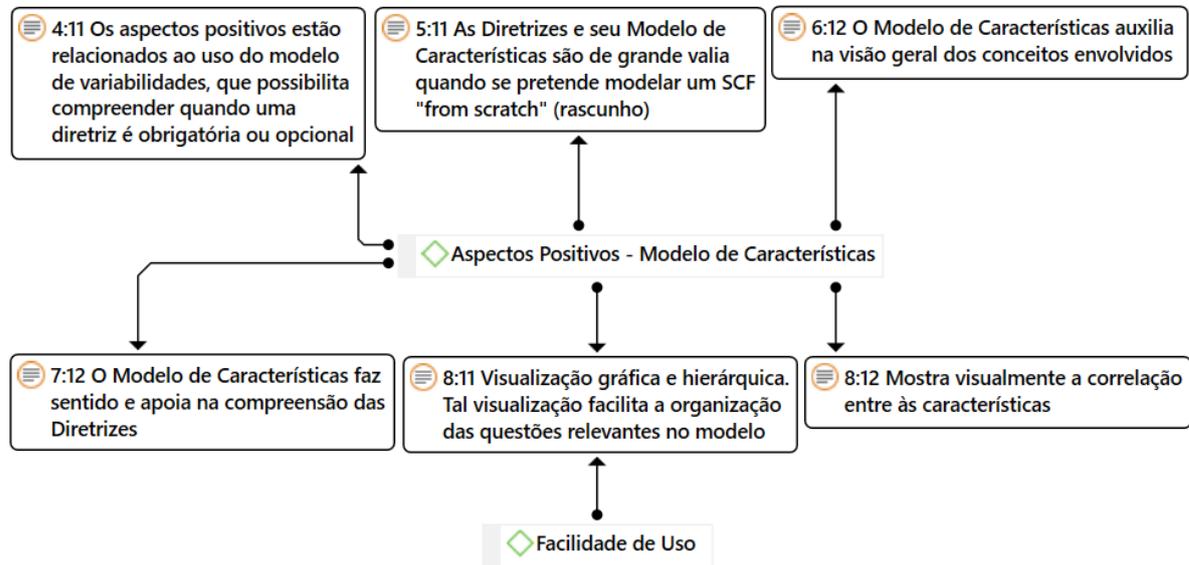


Figura 58. Rede com Associações à Codificação Aspectos Positivos - Diretrizes - Especialistas.

Analisando a Figura 58, o especialista N° 6 comenta sobre a boa organização das diretrizes para modelagem em SCF, apoiado pelo especialista N° 7, que compreende as diretrizes como algo “*interessante*”. Para o especialista N° 9, as diretrizes contribuíram para a sua compreensão sobre características em SCF. A ideia de diretrizes despertou o interesse do especialista N° 10 em relação ao impacto que podem causar em relação à sua adoção. Pressupõe-se que a Figura 58 mostre o interesse dos especialistas na ideia das diretrizes e de seu possível uso futuro para a compreensão de características em SCF.

A Figura 59 representa os Aspectos Positivos - Modelo de Características (*Feature Model*).



**Figura 59. Rede com Associações à Codificação Aspectos Positivos - Modelo de Características (*Feature Model*) - Especialistas.**

Com a análise da Figura 59 é possível observar que o especialista N° 4 acredita que o *feature model* ajuda na modelagem de variabilidades em SCF. A resposta pode ser complementada pela resposta do especialista N° 5, no qual destaca que o *feature model* auxilia na modelagem inicial em SCF. Em adição, o especialista N° 8 também acredita na boa visualização e organização do *feature model*, que também faz sentido ao especialista N° 7.

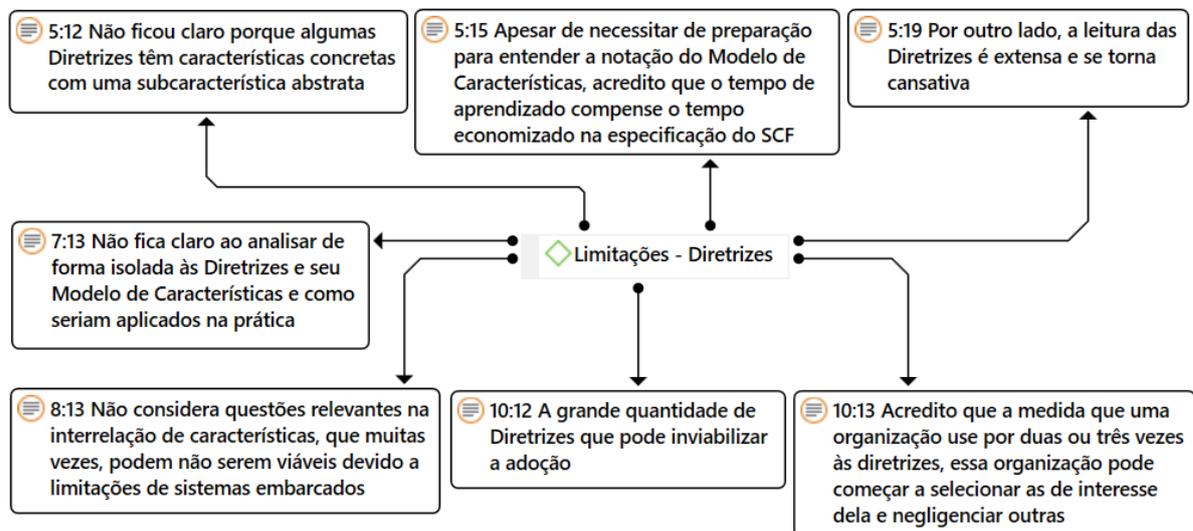
Os resultados obtidos apresentaram indícios de que os artefatos podem ser fáceis, úteis e utilizados no futuro por especialistas. Esses resultados são apoiados pela codificação Aspectos Positivos, que contém as respostas dos especialistas sobre os pontos positivos sobre os artefatos. Os Aspectos Positivos identificados em relação aos artefatos podem oportunizar sua adoção e ajudar especialistas em LPS na compreensão das principais características em SCF.

Embora as respostas analisadas dos especialistas apresentem evidências positivas sobre as Diretrizes e o *Feature Model*, esses artefatos possuem Limitações codificadas e explicitadas a partir de tais respostas. Essas Limitações foram minimizadas com as Recomendações e Sugestões de Melhorias fornecidas e codificadas pelas respostas dos especialistas. As codificações são representadas por

meio de redes e são interpretadas nos próximos parágrafos. Com esses caminhos os artefatos foram aperfeiçoados (CAPÍTULO 5) para facilitar a adaptação e propiciar sua utilização em novos projetos acadêmicos ou industriais no futuro.

Limitações: A Figura 60 representa as Limitações - Diretrizes e a Figura 61 representa as Limitações - Modelo de Características (*Feature Model*). As codificações relacionadas as limitações dos artefatos são apresentadas e discutidas em sequência.

Limitações - Diretrizes: As respostas codificadas dos especialistas N° 5, 7, 8 e 10 contêm limitações das diretrizes representadas na Figura 60.



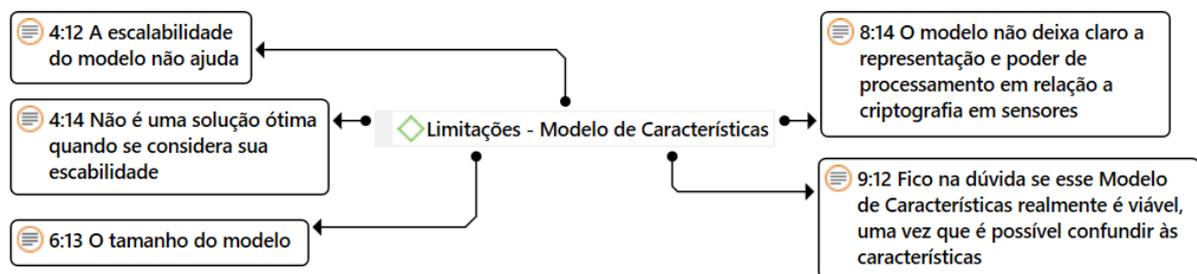
**Figura 60. Rede com Associações à Codificação Limitações - Diretrizes - Especialistas.**

Observando a Figura 60, o especialista N° 5 comenta sobre a limitação entre a relação incorreta de algumas diretrizes com características concretas e abstratas. Entretanto, o especialista N° 5 acredita que o tempo de aprendizado das diretrizes ajude na especificação em SCF, mesmo com a quantidade e extensão das diretrizes. O especialista N° 10 também afirma que a quantidade de diretrizes pode tornar os artefatos inviáveis e, na indústria, algumas diretrizes podem ser aplicadas e outras ignoradas. Em consequência da extensão das diretrizes, o especialista N° 7 não confia na aplicação prática dos artefatos. O especialista N° 8 julga como limitação as diretrizes pouco associadas com características de sistemas embarcados.

Com base nas limitações apresentadas, as Diretrizes foram revisadas e simplificadas em relação a sua quantidade e extensão. Os artefatos Diretrizes em

conjunto com o *Feature Model*, foram divididos em variabilidades técnicas e organizacionais para melhorar a modelagem de SCF e separar as responsabilidades (CAPÍTULO 5). Isso pode permitir e facilitar a aplicação prática dos artefatos na indústria. As associações entre as características também foram revisadas para melhorar a utilização das Diretrizes.

Limitações - Modelo de Características (*Feature Model*): A Figura 61 representa as respostas de quatro especialistas sobre possíveis limitações para o Modelo de Características (*Feature Model*).



**Figura 61. Rede com Associações à Codificação Limitações - Modelo de Características (*Feature Model*) - Especialistas.**

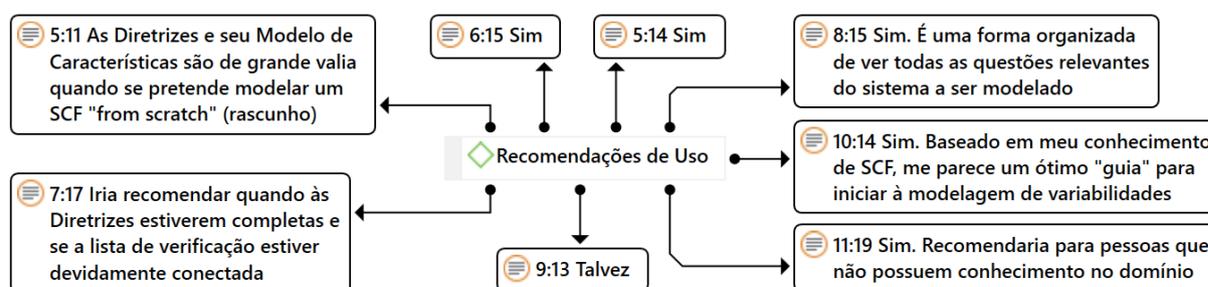
A partir da análise da Figura 61, os especialistas N° 4 e 6 não consideram a escalabilidade e o tamanho do *feature model* adequado para modelar variabilidades em SCF. O especialista N° 9 comenta que as diretrizes são confusas, o que pode inviabilizar o *feature model*. O modelo foi revisado e minimizado quanto a sua quantidade e especificação de diretrizes. A escalabilidade foi considerada por meio da divisão das características em dois grupos de distintos de variabilidades técnicas e organizacionais. As descrições das diretrizes também foram revisadas (CAPÍTULO 5).

O especialista N° 8 apresenta um caminho de otimização para o *feature model*, uma vez que a criptografia não está bem representada no modelo atual. Uma nova versão do *feature model* poderá ser desenvolvida como trabalhos futuros (Seção 8.4) considerando aspectos de segurança voltados para alguns tipos de criptografia e novas características de segurança. Porém, isso será especificado após as melhorias nas diretrizes de segurança com o intuito de permitir a extensão para novas diretrizes relacionadas com características de criptografia.

Todas as Limitações foram exploradas para melhorar as Diretrizes e o *Feature Model*. É importante destacar que esses artefatos possuem limitações semânticas ou

de abstração em consequência do seu tipo ou natureza de representação em formato de árvore. A criação ou adaptação de outras representações híbridas ou perspectivas em LPS foram investigadas para minimizar essas limitações. Assim, o ProVarMod4CPS adota a representação e notação de processo BPMN que permite utilizar atividades, tarefas e papéis para guiar a modelagem de variabilidades por meio dos artefatos Diretrizes e *Feature Model*, contidos em tal processo (CAPÍTULO 5). Além disso, o BPMN é bem amplamente conhecido e utilizado na indústria. Em adição, a quantidade de diretrizes dos artefatos também foi reduzida para facilitar a sua utilização no meio acadêmico e na indústria.

Recomendações: A Figura 62 representa as Recomendações de Uso dos especialistas N° 5 até 11.



**Figura 62. Rede com Associações à Codificação Recomendações de Uso - Especialistas.**

Na Figura 62, os especialistas N° 5 e 6 recomendam o uso dos artefatos para iniciar a modelagem em SCF. Os especialistas N° 7 e 9 poderiam recomendar as diretrizes caso estivessem em um nível maior de completude. O especialista N° 8 acredita na boa organização para iniciar a modelagem de um SCF. O especialista N° 10 acredita que um guia pode ser útil para iniciar a modelagem em SCF. Os artefatos seriam recomendados pelo especialista N° 11 para profissionais que possuem pouco conhecimento sobre um domínio em específico. É importante destacar o comentário dos especialistas N° 10 e 11, alinhado ao projeto e desenvolvimento do processo ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 5), no qual pode ser utilizado para guiar profissionais durante a modelagem de variabilidades em SCF por meio de atividades, tarefas, papéis e artefatos bem especificados.

A Figura 63 representa as Recomendações de Melhoria dos especialistas N° 5 até N° 8.

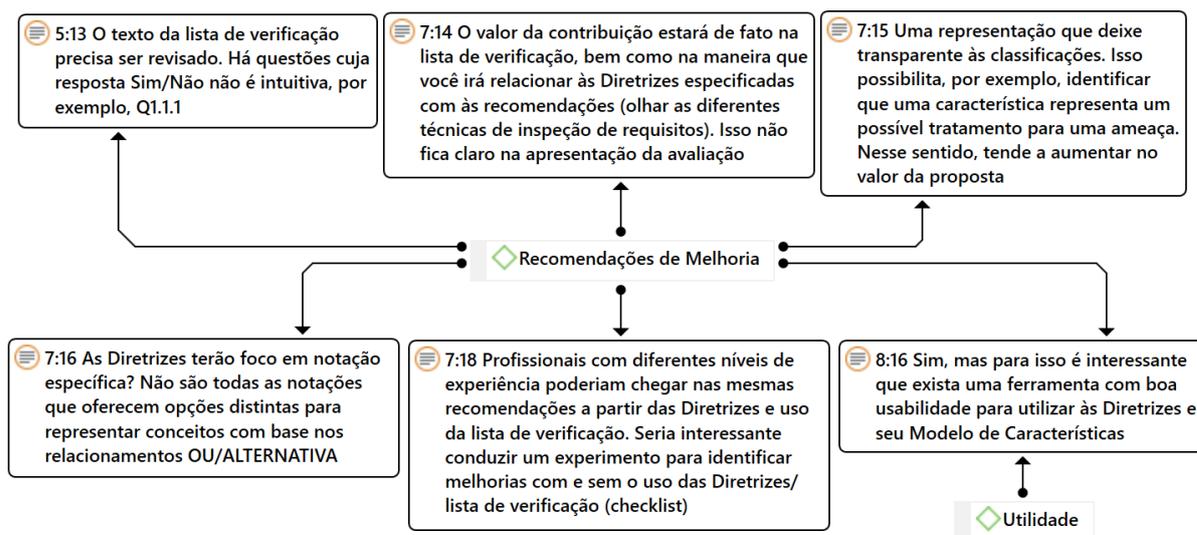


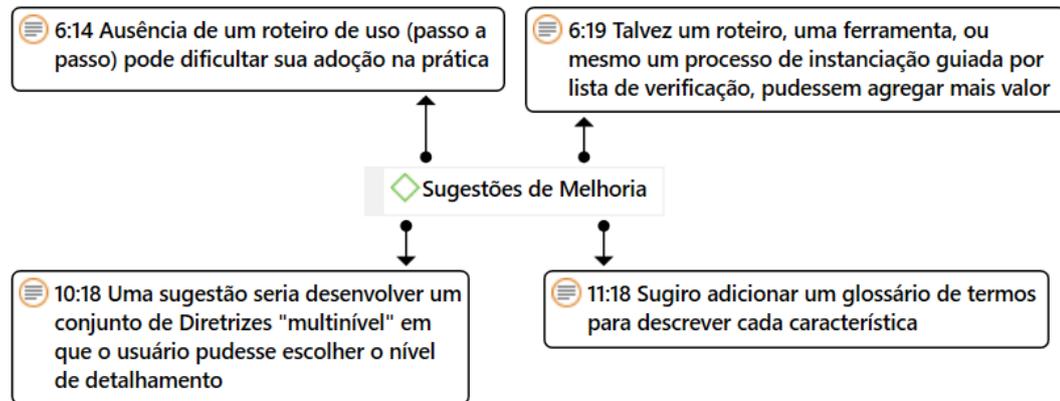
Figura 63. Rede com Associações à Codificação Recomendações de Melhoria - Especialistas.

Na Figura 63, o especialista N° 5 recomenda a revisão da *checklist*, pois não é intuitiva. O especialista N° 7 apresenta uma resposta próxima ao especialista N° 7 e acredita que a *checklist* é uma contribuição do trabalho que deve ser mais clara. O especialista N° 7 ainda comenta que as diretrizes devem ser melhoradas com novos experimentos. O especialista N° 8 acredita que uma boa ferramenta pode ajudar na utilização dos artefatos.

De acordo com os especialistas N° 5 e 7 a *checklist* foi melhorada após as avaliações conduzidas desta pesquisa. Entretanto, trabalhos futuros serão conduzidos para refinar somente o artefato *checklist* para fins mais práticos de aplicação. Considerando ainda o comentário do especialista N° 7, as diretrizes foram revisadas. Sobre o comentário do especialista N° 8, uma ferramenta poderá ser desenvolvida como trabalhos futuros (Seção 8.4) para apoiar o uso dos artefatos.

Várias Recomendações explicitadas pelos especialistas foram implementadas gradualmente aos artefatos. Algumas Recomendações apresentaram evidências de problemas atuais dos artefatos, que foram revisados para sua evolução em uma nova versão. Dentre esses problemas, estão a revisão da *checklist*, readequação da representação das suas características e diretrizes, bem como a especificação de restrições (*constraints*) para a modelagem de variabilidades em SCF. O CAPÍTULO 5 apresenta detalhadamente a última versão dos artefatos. Além das Recomendações, várias Sugestões de Melhoria foram identificadas nas respostas dos especialistas.

Sugestões de Melhoria: A Figura 64 representa as respostas dos especialistas Nº 6, 10 e 11 como sugestões para melhoria dos artefatos.



**Figura 64.** Rede com as Associações à Categoria Sugestões de Melhoria - Especialistas.

Analisando a Figura 64, o especialista Nº 6 fornece uma sugestão para o desenvolvimento de um roteiro a fim de facilitar a adoção e uso dos artefatos. O especialista Nº 10 sugere a criação de diretrizes com multinível de detalhamento maior. O ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 5). é um processo que substitui a ideia de roteiro para guiar a modelagem por meio de atividades e um subprocesso com tarefas sequenciais apoiadas por artefatos (quando necessário). A ideia de Diretrizes multinível do especialista Nº 10 foi implementada por meio da especificação de duas divisões de diretrizes, especificadas como variabilidades técnicas e organizacionais (CAPÍTULO 5). O especialista Nº 11 também sugere a criação de um glossário igualmente ao especialista Nº 2 do projeto piloto.

A Figura 65 representa apenas as respostas do especialista Nº 11 em relação às Sugestões de Melhoria - Diretrizes.

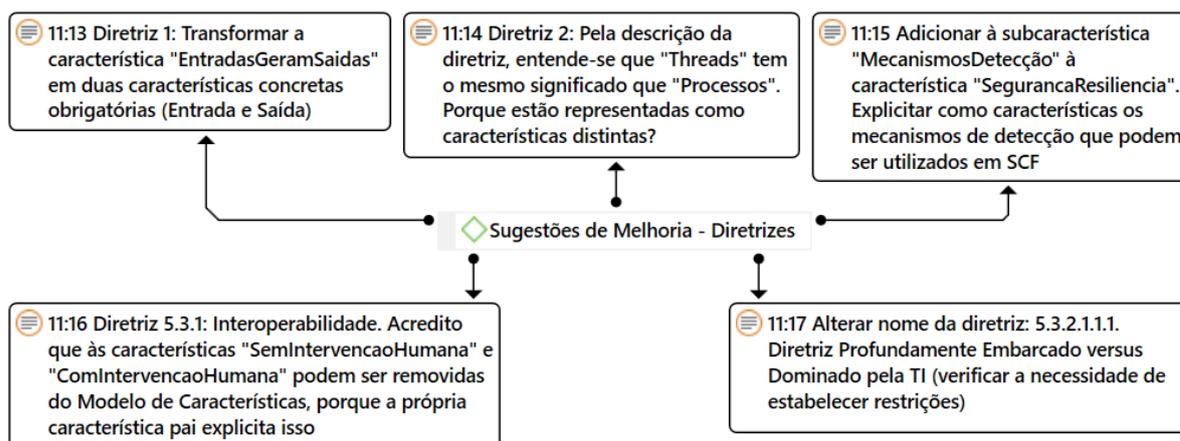


Figura 65. Rede com as Associações à Categoria **Sugestões de Melhoria - Diretrizes - Especialistas**.

Observando a Figura 65, o especialista N<sup>o</sup> 11 sugere revisar as diretrizes **1. Computação Reativa** e **2. Concorrência**. O especialista N<sup>o</sup> 11 também sugere a alteração da diretriz **4. Segurança e Resiliência** e **5.3.1 Interoperabilidade**, além de verificar as restrições da diretriz **5.3.2.1.1.1. Diretriz Profundamente Embarcado versus Dominado pela TI**. A diretriz **5.3.1 Interoperabilidade** foi alterada para uma Variabilidade Técnica (VT) chamada **VT.5. Desempenho X Interoperabilidade X Heterogeneidade (TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity)** e possui várias características internas devido a sua amplitude em SCF. Todas as diretrizes mencionadas pelo especialista N<sup>o</sup> 11 foram revisadas e estão em melhoria contínua conforme novas versões do ProVarMod4CPS e seus artefatos (CAPÍTULO 5).

Os artefatos Diretrizes e *Feature Model* estão contidos no processo ProVarMod4CPS para auxiliar na modelagem de variabilidades em SCF (CAPÍTULO 5). Um *checklist* preliminar também foi desenvolvida como artefato no ProVarMod4CPS. A *checklist* foi revisada quanto a quantidade e qualidade das suas questões para guiar adequadamente a modelagem de variabilidades em SCF.

As Limitações, Recomendações e Sugestões foram exploradas para adequação e implementação no escopo atual dos artefatos. As limitações foram minimizadas a partir das recomendações e sugestões mencionadas pelos especialistas. Entretanto, não é possível garantir a implementação de todas as sugestões, mas várias sugestões já foram adequadas.

Em síntese, dez pontos foram realizados para a extensão e melhoria contínua dos artefatos. Dentre esses pontos, estão:

1. Revisar as características do modelo e as diretrizes;

2. Melhorar a descrição das características para que sejam imperativas;
3. Minimizar a representação de características concretas, pois o *feature model* é abstrato;
4. Implementar restrições (*constraints*) relacionadas às características. Por exemplo, *requires* e *excludes*, para definir dependências entre as características;
5. Criar o processo ProVarMod4CPS com atividades e tarefas sequenciais (subprocesso) para auxiliar na modelagem, substituindo a ideia de roteiro;
6. Criar uma divisão das características como Variabilidades Técnicas (VT) e Organizacionais (VO);
7. Elaborar exemplos isolados para cada uma das características e suas respectivas diretrizes por meio do artefato Diretrizes ou na *checklist*. Exemplos foram criados também na *checklist* considerando o domínio da agricultura;
8. A *checklist* inicial foi revisada;
9. Melhorar a descrição dos relacionamentos das diretrizes em cada uma das questões da *checklist*;
10. Um conjunto de artefatos foi projetado e desenvolvido como solução desta pesquisa (ProVarMod4CPS - CAPÍTULO 5).

Com base no feedback dos especialistas, os artefatos preliminares Diretrizes e *Feature Model* foram aperfeiçoados e estão incluídos no ProVarMod4CPS. Esses artefatos são avaliados em conjunto com o ProVarMod4CPS em um estudo empírico qualitativo descrito no CAPÍTULO 7.

### 6.3 Ameaças à validade da avaliação

As principais ameaças para a validade desta avaliação são:

**Ameaças à validade de *constructo*.** A instrumentação desta avaliação foi reestruturada a partir da aplicação de um projeto piloto com a participação de três especialistas em LPS. Os resultados analisados foram isolados do grupo de especialistas do projeto piloto (N = 3) em um grupo diferente de especialistas que participaram da avaliação (N = 8), totalizando N = 11 especialistas. Os resultados deste projeto piloto ajudaram a mitigar problemas e a refinar a instrumentação (incluindo os questionários) antes de conduzir este estudo empírico.

**Ameaças à validade interna.** Poucos especialistas participaram na avaliação (N = 11). Os conhecimentos e habilidades dos especialistas estão relacionados com engenharia de software e LPS. A maioria dos especialistas tem um baixo conhecimento em SCF. Entretanto, os participantes contribuíram significativamente, com um *feedback* de qualidade, para melhorar os artefatos avaliados neste estudo. Novos estudos serão conduzidos para avaliar os artefatos com especialistas em SCF.

A quantidade de especialistas não permitiu explicar diferenças significativas em seus conhecimentos e habilidades gerais que poderiam impactar nesta avaliação. Os especialistas executaram todas as mesmas tarefas válidas de forma não aleatória. Todas as respostas dos questionários foram consideradas válidas. Nenhum dos dados obtidos dos especialistas foram descartados.

Embora os especialistas poderiam ter efeitos de fadiga em virtude da duração estimada de 1h, referente a avaliação completa, isso não foi observado. Estes efeitos foram, provavelmente, mitigados com a atribuição de um prazo de 22 dias para os especialistas responderem ao formulário eletrônico no horário e dia mais adequados para as suas necessidades. Outro fator importante é a não influência e presença física entre os especialistas na avaliação. O estudo conduzido online não tem influência na presença física entre os especialistas. O convite e o formulário eletrônico foram enviados individualmente por e-mail para cada especialista que, provavelmente, respondeu a esta avaliação em dias, horários e locais diferentes.

**Ameaças à validade de conclusão.** A principal ameaça foi o número de especialistas (N = 11). Entretanto, o conhecimento e experiência dos especialistas corroboraram significativamente para a qualidade desta avaliação, dada sua natureza de característica qualitativa. Um número maior de especialistas poderia contribuir com uma melhor capacidade de generalização dos resultados.

**Ameaças à validade externa.** Não foram adotadas LPS comerciais para contribuir na avaliação dos artefatos por causa da disponibilidade desse tipo LPS. Apenas a LPS *Arable Farming*, modelada a partir de dois estudos de caso reais na Holanda, foi utilizada como exemplo de aplicação dos artefatos Diretrizes e *Feature Model* no domínio da agricultura. É necessária a utilização de novas LPS industriais para minimizar os riscos em relação à validade externa. Quanto aos participantes, a obtenção de especialistas com conhecimento em ambas as áreas de SCF e LPS foi uma das grandes dificuldades identificadas para a condução desta avaliação. A maioria dos especialistas convidados atua no meio acadêmico com conhecimento em

SCF, avançado em LPS e moderado/avançado em *feature model*. É necessário conduzir novas avaliações com profissionais da indústria para mitigar tal ameaça (ver Trabalhos Futuros, Seção 8.4).

#### **6.4 Considerações sobre o capítulo**

Neste capítulo uma avaliação de viabilidade foi conduzida com especialistas em LPS com o objetivo de compreender a viabilidade dos artefatos preliminares Diretrizes e *Feature Model*. Com a análise e interpretação dos resultados obtidos nesta avaliação foram identificadas respostas que corroboraram com indícios sobre a facilidade, utilidade e intenção de uso futuro desses artefatos. Os especialistas forneceram respostas e caminhos, interpretados e modelados como códigos, que expressavam limitações, recomendações e sugestões de melhoria em relação aos artefatos.

As respostas desses especialistas, aliadas aos códigos discutidos, foram primordiais para a evolução dos artefatos e desenvolvimento do processo ProVarMod4CPS (CAPÍTULO 5). Essa avaliação permitiu identificar em quais pontos direcionar esforços para guiar o aprimoramento contínuo dos artefatos. O corpo de conhecimento produzido nesta avaliação permitiu melhorar os artefatos e adequá-los em uma nova avaliação qualitativa conduzida no ambiente acadêmico. Esta avaliação é detalhada no próximo CAPÍTULO 7 sobre o ProVarMod4CPS utilizando os artefatos Diretrizes e o *Feature Model* que foram atualizados para auxiliar na modelagem de variabilidades em SCF.

## CAPÍTULO 7 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da avaliação do ProVarMod4CPS e seus artefatos com a participação de especialistas. Com base na seção 4.3.4.2, o objetivo desta avaliação é responder as seguintes questões: “**Você considera o processo entendível com base nas afirmações das *Seven Process Modeling Guidelines (7PMG)* (MENDLING *et al.*, 2010)?**”; “**O processo é *Understandable-by-Design* (MENDLING *et al.*, 2010; REIJERS *et al.*, 2010)?**”; “**Você acredita que a indústria poderia utilizar o processo?**”; e “**Você considera o processo complexo para ser utilizado na indústria?**”. Os resultados são apresentados e discutidos conforme a ordem: nível de conhecimento dos especialistas, análise e interpretação dos resultados obtidos e ameaças à validade desta avaliação.

### 7.1 Nível de conhecimento dos especialistas

A Tabela 27 apresenta os dados de cada especialista que participou desta avaliação conforme a ordem em que os dados foram enviados por meio do formulário eletrônico elaborado no Qualtrics (Apêndice C.5).

Tabela 27. Dados de Perfil dos Especialistas desta Avaliação.

<b>Id</b>	<b>Formação</b>	<b>Setor de Atuação</b>	<b>Experiência na Área</b>	<b>Experiência com SCF</b>	<b>Experiência com LPS e GV</b>	<b>Experiência com <i>Feature Model</i></b>
<b>Avaliação com Especialistas (N = 6)</b>						
1	Postdoc	Ambos	10 anos	Já lí, de forma	Avançada	Avançada
2	Doutorando	Ambos	5 anos	superficial,	Avançada	Avançada
3	Doutorando	Acadêmico	2 anos	algo sobre	Moderada	Moderada
4	Doutorando	Acadêmico	9 anos e 6 meses	SCF.	Avançada	Moderada
5	Doutorando	Acadêmico	3 anos		Moderada	Moderada
6	Doutorando	Ambos	6 anos	Moderada	Avançada	Avançada
<b>Moda</b>						
Em Nível de Doutorado		Ambos / Acadêmico	6 anos (em média)	Já lí, de forma superficial,	Avançada	Moderada / Avançada

Ao observar o nível de conhecimento dos especialistas na Tabela 27, a maioria dos especialistas têm um conhecimento avançado em LPS e GV e moderado/avançado na modelagem com *Feature Model*. Entretanto, o conhecimento dos especialistas em SCF é baixo. A maioria dos especialistas responderam a opção “*Já lí, de forma superficial, algo sobre SCF*” e apenas o especialista N° 6 possui um conhecimento moderado sobre SCF. Apesar do baixo conhecimento dos especialistas em SCF, o perfil considerado nesta avaliação são especialistas com conhecimentos em LPS e GV. Esse perfil foi obtido durante o questionário de caracterização dos participantes (Apêndice C.5) e não impactou negativamente nos resultados desta avaliação.

A metade dos especialistas que participaram desta avaliação atuam no ambiente acadêmico e na indústria com 6 anos (em média) de experiência. Dentre os especialistas, há um especialista com formação a nível de *PostDoc* e, o restante dos especialistas têm um perfil jovem em nível de doutorado com conhecimentos atuais nas áreas de LPS, GV e modelagem. Todos os especialistas contribuíram significativamente com a avaliação do processo ProVarMod4CPS e seus artefatos. Porém, um projeto piloto não foi realizado para avaliar e melhorar a instrumentação desta avaliação.

Os resultados obtidos a partir do *feedback* dos especialistas são analisados e interpretados na próxima seção 7.2.

## 7.2 Análise e interpretação dos resultados

Com a análise das respostas de múltipla escolha utilizando a Codificação Magnitude foi possível obter respostas sobre o quanto os especialistas concordam em relação ao entendimento do processo ProVarMod4CPS com base nas afirmações das *Seven Process Modeling Guidelines (7PMG)* (MENDLING *et al.*, 2010) e se o processo é *Understandable-by-Design* (MENDLING *et al.*, 2010; REIJERS *et al.*, 2010). As questões de múltipla escolha estão no questionário do Apêndice C.6.

Os resultados da análise das respostas dos especialistas foram positivos, mas não têm capacidade suficiente para a generalização em relação ao entendimento e compreensão por projeto do processo ProVarMod4CPS. Entretanto, o teste de

confiabilidade *Cronbach's Alpha* foi calculado para medir a consistência interna da escala das questões de múltipla escolha conforme as respostas coletadas dos especialistas que participaram desta avaliação (Tabela 28).

**Tabela 28. Teste *Cronbach's Alpha* - Questionário.**

<b>Especialista Id #:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Q28. Analise se o processo ProVarMod4CPS é compreensível com base nas afirmações das Sete Diretrizes de Modelagem de Processos (<i>Seven Process Modeling Guidelines (7PMG)</i>) (MENDLING et al., 2010)</b>						
<b>Q28_1. Avaliação dos Elementos.</b> Utilizar o menor número possível de elementos no modelo. O tamanho do modelo tem efeitos indesejáveis sobre a compreensibilidade e a chances de erros: Modelos maiores tendem a ser mais difíceis de compreender e têm uma probabilidade de erro mais elevada do que os modelos menores.	4	4	3	3	3	2
<b>Q28_2. Avaliação de Roteamento.</b> Minimizar os caminhos de roteamento por elemento. Quanto maior for o grau de um elemento no modelo de processo, ou seja, o número de entradas e saídas juntos, mais difícil se torna compreender o modelo. Existe uma forte correlação entre o número de erros de modelagem e o nível médio ou máximo de elementos em um modelo.	4	3	3	4	3	3
<b>Q28_3. Avaliação de Eventos.</b> Utilizar um evento de início e um evento de fim. O número de eventos de início e de fim está positivamente conectado a um aumento da probabilidade de erro. A maioria dos mecanismos de fluxo de trabalho ( <i>workflow</i> ) requer um único nó de início e de fim. Além disso, os modelos que satisfazem este requisito são mais fáceis de compreender e permitem todos os tipos ou análises (por exemplo, <i>soundness checks</i> ).	4	4	4	4	3	3
<b>Q28_4. Avaliação da Estrutura.</b> Modelo tão estruturado quanto possível. Um modelo de processo é estruturado se cada conector dividido corresponder a um respectivo conector de junção do mesmo tipo. Os modelos estruturados podem ser vistos como fórmulas com parênteses equilibrados, ou seja, cada parênteses de abertura tem um parêntese de fecho correspondente do mesmo tipo. Os modelos não estruturados não são apenas mais susceptíveis de incluir erros, as pessoas também tendem a compreendê-los com menos facilidade.	4	4	4	3	3	3
<b>Q28_5. Avaliação de Roteamento OR.</b> Evitar elementos de roteamento OR. Os modelos que têm apenas conectores AND e XOR são menos suscetíveis a erros ( <i>error-prone</i> ). Além disso, existem algumas ambiguidades na semântica da junção OR ( <i>OR-join</i> ) que conduzem a paradoxos e problemas de implementação.	4	4	4	3	3	3
<b>Q28_6. Avaliação das Atividades.</b> Utilizar rótulos ( <i>labels</i> ) de atividade verbo-objeto ( <i>verb-object</i> ). Uma ampla exploração dos estilos de rotulagem ( <i>labeling</i> ) que são utilizados em modelos de processo reais, revela a existência de dois estilos populares e uma categoria de apoio. A partir destes, as pessoas consideram o estilo verbo-objeto, " <i>Informar complainant</i> ", como significativamente menos ambíguos e mais úteis do que os rótulos de substantivos de ação (por exemplo " <i>Complaint analysis</i> ") ou rótulos que não sigam nenhum destes estilos (por exemplo " <i>Incident agenda</i> ").	4	4	4	4	3	3
<b>Q28_7. Avaliação de Decomposição.</b> Decompor o modelo se ele tem mais de 50 elementos. Para modelos com mais de 50 elementos, a probabilidade de erro tende a ser superior a 50%. Portanto, os modelos grandes devem ser divididos em modelos menores. Os subcomponentes grandes com uma única entrada e uma única saída podem ser substituídos por uma atividade que aponte para o subcomponente original como modelos separados.	4	3	3	4	3	2

**Q29. A qualidade pragmática do SIQ *framework* (REIJERS et al., 2010) engloba o "objetivo de chegar a um modelo de processo que possa ser compreendido pelas pessoas", e o "modelo pode ser perfeitamente compreendido em termos das relações que estão a ser expressas entre os seus elementos". De acordo com a qualidade pragmática, o Compreensível-por-Projeto (*Understandable-***

*by-Design*) avalia "a conexão empírica entre compreensão, erros, e métricas do modelo". Com base nas Sete Diretrizes de Modelagem de Processo (7PMG - *Seven Process Modeling Guidelines*) (MENDLING *et al.*, 2010), você considera o processo ProVarMod4CPS Compreensível-por-Projeto (*Understandable-by-Design*)?

Q29: 4 4 3 3 3 3

Legenda	Escala 7PMG (Likert)
Nada compreensível	1
Pouco compreensível	2
Muito compreensível	3
Extremamente compreensível	4

#### Avaliação de Confiabilidade do Questionário utilizando 7PMG - *Seven Process Modeling Guidelines* (MENDLING *et al.*, 2010)

Se *Cronbach*  $\alpha \geq 0.8$  os valores são Confiáveis (Válidos)

<b><i>Cronbach alpha</i> (<math>\alpha</math>) - N = 6</b>	<b>0,91</b>
<i>Standardized alpha</i> ( $\alpha$ ) - N = 6	0,92

Observando os valores calculados nos testes *Cronbach's Alpha* (Tabela 28), sendo  $\alpha \geq 0,8$  (confiável / válido), o valor calculado obtido de  $\alpha = 0,91$  para  $N = 6$  é confiável. Este resultado corrobora com evidências positivas sobre a compreensão (com base na 7PMG) do processo ProVarMod4CPS pelos especialistas, mesmo com essa amostra pequena de seis participantes.

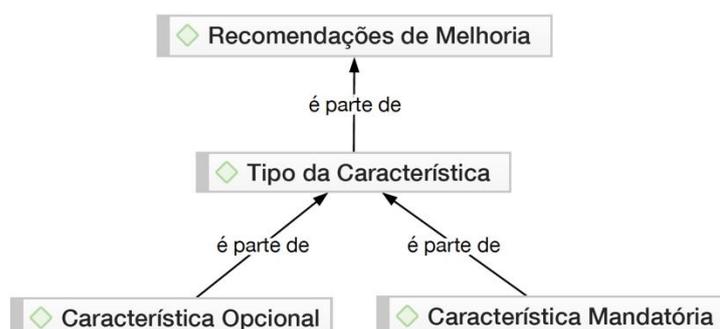
Após a análise das questões de múltipla escolha (quantitativa), as questões abertas (qualitativas) foram analisadas e interpretadas. Com a realização do processo de Codificação In Vivo e Codificação Provisória nas questões abertas, a seguinte lista de códigos principais foi obtida, bem como representados em redes: **Recomendações de Melhoria - Tipo da Característica e Exemplos de Implementação - TVs e OVs; Sugestões de Características; Tarefas do Subprocesso - ProVarMod4CPS; Utilização do ProVarMod4CPS na Indústria; e Sugestões de Melhoria - ProVarMod4CPS;**

Na sequência são apresentadas as codificações realizadas nesta avaliação (Seção 7.2.1) em conjunto com os resultados analisados e interpretados com base no *feedback* dos especialistas sobre o ProVarMod4CPS e seus artefatos.

### 7.2.1 Análise qualitativa

Esta seção apresenta a análise e interpretação dos resultados desta avaliação qualitativa do ProVarMod4CPS e seus artefatos com seis especialistas ( $N = 6$ ). Todas as questões abertas podem ser consultadas no questionário do Apêndice C.6.

Os especialistas foram questionados nas Questões Q23 e Q24 (Apêndice C.6) sobre a escolha do **Tipo da Característica** (Característica Opcional e Característica Mandatória) para manter no *Feature Model* do artefato *ProVarMod4CPS - Feature Model*. As opiniões dos especialistas foram analisadas e codificadas como **Recomendações de Melhoria** para o código **Tipo da Característica**, referente artefato *ProVarMod4CPS - Feature Model*. A Figura 66 representa uma rede (criada no ATLAS.ti) com os tipos de características.



**Figura 66. Rede com Associações à Codificação Tipo da Característica e Recomendações de Melhoria.**

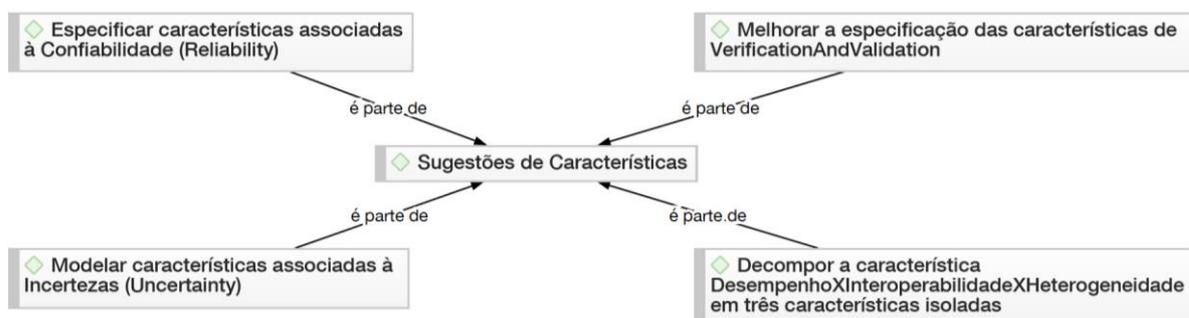
As características (*features*) serão revisadas para tornar as características opcionais e flexíveis para a escolha durante a modelagem de variabilidades de SCF. É importante destacar que as características opcionais não mantêm o modelo totalmente imperativo. A possibilidade de escolher características pode afetar a qualidade de SCFs, pois características essenciais (como obrigatórias) podem ser desconsideradas durante a modelagem.

O especialista Nº 1 entende que existem características que devem ser obrigatórias e outras características poderiam ser opcionais: “*Concordo que algumas das características precisam ser obrigatórias para que o sistema seja de fato caracterizado como CPS (e.g., Interoperabilidade e Componentes do CPS). Porém, existem algumas características (como Estrutura Topológica Dinâmica e Segurança) que fiquei na dúvida se precisaria ficar como obrigatório mesmo*”. Os especialistas Nº 2 e Nº 3 consideram que as características devem ser obrigatórias. O especialista Nº 3 afirma que: “*as features obrigatórias formalizam e facilitam o uso do ProVarMod4CPS para a modelagem de variabilidades de Sistemas Ciber-Físicos*”.

O especialista Nº 4 acredita que “*um CPS pode ser mais amplo ou mais reduzido, a depender do contexto em que ele será implantado. Por esse raciocínio,*

me parece adequado inserir um certo nível de flexibilidade no modelo”. Adicionalmente, o especialista N° 5 considera que “os especialistas deveriam escolher quais características querem utilizar”. Além disso, o especialista N° 6 considera que as “TV e OV podem mudar” conforme os “requisitos” ou “configurações do sistema”, sendo assim, é necessário manter as características opcionais.

Na Questão Q25 (Apêndice C.6), referente ao Questionário de Avaliação do ProVarMod4CPS, os especialistas descreveram **Sugestões de Características** com o intuito de colaborar na melhoria dos artefatos *ProVarMod4CPS - Feature Model e Guidelines*. A Figura 67 apresenta uma rede com sugestões de melhoria analisadas e codificadas para os artefatos *ProVarMod4CPS - Feature Model e Guidelines* a partir da representação do código principal **Sugestões de Características**. Essas sugestões serão aplicadas em futuras versões do ProVarMod4CPS.



**Figura 67. Rede com Associações à Codificação Sugestões de Características.**

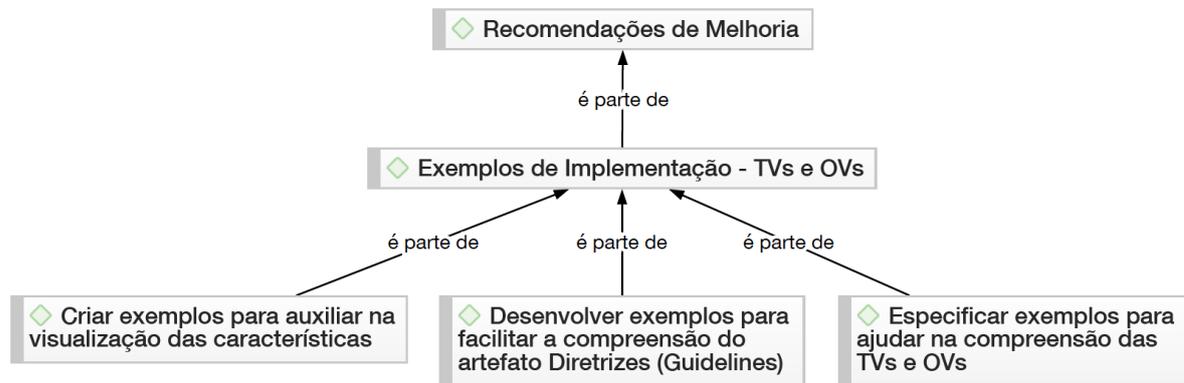
O especialista N° 1 sugere que “*outras características de qualidade (e.g., Reliability)*” sejam modeladas e especificadas. Assim, o código Especificar características associadas à Confiabilidade (*Reliability*) foi criado para melhorar dos artefatos a posteriori. O especialista N° 1 também questiona e sugere que “*seria interessante alguma característica relacionada à incertezas?*”. O código Modelar características associadas à Incertezas (*Uncertainty*) foi definido para atender a sugestão do especialista no futuro. Além das sugestões, o especialista N° 1 teve dúvidas com relação a característica *VerificationAndValidation*, conforme o trecho “*Outra dúvida que fiquei foi nas características relacionadas à Verificação e Validação. Por quê só Funcional Testing ou Probabilistic Tests?*”. Um código chamado Melhorar a especificação das características de *VerificationAndValidation* foi criado para estender os artefatos do ProVarMod4CPS.

O especialista Nº 4 teve dificuldades em compreender a característica DesempenhoXInteroperabilidadeXHeterogeneidade, com sua opinião nos trechos: “*me parece que a característica DesempenhoXInteroperabilidadeXHeterogeneidade poderia ser desmembrada em três características separadas. Considerei complexo o entendimento de tal característica*” e “*me parece mais fácil entender cada uma dessas possíveis características de maneira isolada*”. A partir da dificuldade do especialista Nº 4, tal característica será decomposta no futuro a partir do código criado: Decompor a característica DesempenhoXInteroperabilidadeXHeterogeneidade em três características isoladas.

Os especialistas Nº 2, Nº 3, Nº 5 e Nº 6 não sugeriram características.

Na Questão Q26 (Apêndice C.6), a maioria dos especialistas sugerem a importância do desenvolvimento de exemplos de implementação ou aplicação para as TVs e OVs em algum domínio específico. Por exemplo, agricultura ou cidades inteligentes. O Apêndice A apresenta exemplos de aplicação das TVs e OVs no domínio da agricultura (LPS Arable Farming) por meio do artefato *Checklist* (em fase de melhoria contínua).

A Figura 68 representa uma rede com os códigos de **Recomendações de Melhoria** para os **Exemplos de Implementação - TVs e OVs** no escopo do ProVarMod4CPS. As recomendações serão aplicadas por meio do desenvolvimento de exemplos para as TVs e OVs em novas versões dos artefatos do ProVarMod4CPS (*Feature Model* e *Guidelines*).



**Figura 68. Rede com Associações à Codificação Exemplos de Implementação - TVs e OVs / Recomendações de Melhoria.**

O especialista Nº 1 acredita que exemplos “*podem auxiliar o engenheiro a melhor visualizar features associadas às TVs e OVs*”. Esse especialista teve

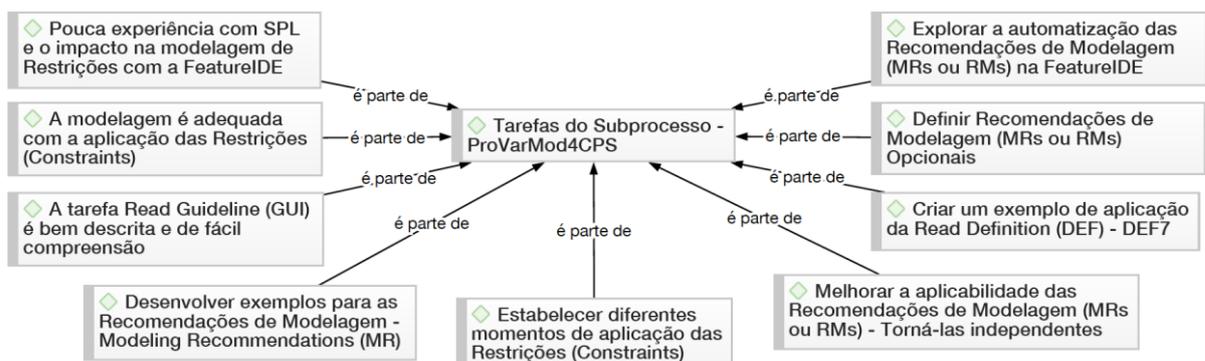
dificuldades “em associar as features com as TVs e OV’s”. Assim, o código Criar exemplos para auxiliar na visualização das características foi definido para melhorar a representação e associação das características (*features*) utilizando exemplos de implementação ou aplicação no futuro.

O especialista N° 3 menciona que “a inserção de um exemplo agregaria bastante valor ao artefato das diretrizes, facilitando mais ainda a sua compreensão”. O código Desenvolver exemplos para facilitar a compreensão do artefato Diretrizes (Guidelines) foi estabelecido para incluir exemplos futuros no artefato Diretrizes (*Guidelines*).

O especialista N° 4 afirma que “um exemplo de implementação seria um complemento, ou seja, é bem vindo, mas não é essencial”. O especialista N° 6 tem um ponto de vista similar ao especialista N° 4 e também acredita que exemplos “ajudaria complementar o entendimento sobre TVs e as OV’s de forma prática”. O código Especificar exemplos para ajudar na compreensão das TVs e OV’s foi criado com o objetivo de especificar exemplos de implementação ou aplicação para as TVs e OV’s no futuro. Entretanto, o especialista N° 4 acha que não é necessário criar exemplos e comenta no trecho da sua resposta que “no geral a apresentação das TVs e das OV’s está adequada”.

Os especialistas N° 2 e N° 5 não opinaram sobre a possibilidade da criação de exemplos de implementação em diferentes domínios para as TVs e OV’s.

Os especialistas foram questionados (Questões Q31 até Q39 - Apêndice C.6) sobre as **Tarefas do Subprocesso - ProVarMod4CPS**. As respostas dos especialistas foram analisadas e codificadas para cada tipo de tarefa contida no subprocesso. A Figura 69 representa uma rede com os códigos relacionados a discussão das tarefas, apresentada em sequência.



**Figura 69. Rede com Associações à Codificação Tarefas do Subprocesso - ProVarMod4CPS.**

A Questão Q31, referente a tarefa *Ler a Definição (DEF. Definition) - Read Definition (DEF)* foi respondida pelos especialistas N° 1, N° 3, N° 4 e N° 6. O especialista N° 1 comenta que “*Não existe um exemplo claro de aplicação na DEF7*”. Esse comentário foi codificado como Criar um exemplo de aplicação da Read Definition (DEF) - DEF7. Além da DEF7, as outras DEFs serão investigadas para implementação futura de exemplos de aplicação. O especialista N° 3 mencionou que a tarefa “*está bem descrita e de fácil compreensão*”. O especialista N° 4 acredita a tarefa “*essencial para a compreensão e aplicação do subprocesso*” e “*facilita a modelagem*”. O especialista N° 6 acha “*interessante as definições de conceitos e diretrizes*” e “*ajudam no entendimento do processo*”.

Na Q32, relacionada a tarefa *Ler a Diretriz (GUI. Guideline) - Read Guideline (GUI)* foi respondida pelos mesmos especialistas da Q31. O especialista N° 1 acredita que “*é essencial a leitura do guideline para entender o processo*”. O especialista N° 3 mencionou que a tarefa “*está bem descrita e de fácil compreensão*” (como na DEF). Em adição, o especialista N° 4 comenta que “*a leitura das diretrizes amplia a compreensão das características*”. Além disso, o especialista N° 6 complementa e acha que “*O guideline fico muito fácil de ser seguido*”. Neste contexto, o código A tarefa Read Guideline (GUI) é bem descrita e de fácil compreensão foi criado considerando as vantagens mencionadas sobre a tarefa GUI do subprocesso do ProVarMod4CPS.

A Q33, está associada a tarefa *Consultar Recomendação de Modelagem (MR. Modeling Recommendation) - Refer to the Modeling Recommendation (MR)* e também foi respondida pelos mesmo especialistas das Questões Q31 e Q32. O especialista N° 1 sugere “*adicionar exemplos aqui*” na tarefa MR. Os exemplos são considerados importantes e o código Desenvolver exemplos para as Recomendações de Modelagem - Modeling Recommendations (MR) foi estabelecido com a finalidade de desenvolver exemplos futuramente para MRs do subprocesso. Os especialistas N° 3 e N° 4 comentam, respectivamente, sobre a qualidade da tarefa, sendo que “*está bem descrita e de fácil compreensão*” e “*recomendações são muito importantes para facilitar o processo de modelagem*”. O especialista N° 6 acredita que “*a recomendação de modelagem é um pouco complicado para usuário que nunca trabalharam com o FeatureIDE*”. O código Explorar a automatização das Recomendações de Modelagem

(MRs ou RMs) na *FeatureIDE* foi criado a fim de planejar o desenvolvimento de alguma automatização das MRs ou RMs em trabalhos futuros.

A Q35 é referente a tarefa *Aplicar Recomendação de Modelagem - Apply Modeling Recommendation (MR)*. O especialista N° 1 responde a questão com uma pergunta: “*se elas não puderem ser aplicadas?*” (elas são as recomendações de modelagem). Esse questionamento foi codificado como Definir Recomendações de Modelagem (MRs ou RMs) Opcionais. Acredita-se que MRs opcionais podem tornar a aplicação das recomendações mais flexíveis, caso algumas recomendações não possam ser aplicadas durante a modelagem. O especialista N° 3 acredita que a tarefa “*está bem descrita e de fácil compreensão*” e, o especialista N° 4, “*percebo uma contribuição importante desta tarefa*”. O especialista N° 6 comentar sobre a aplicabilidade da tarefa, mencionando: “*precisa aplicado seguindo mais de um documento e isso pode atrapalhar a sua aplicabilidade*”. Um código foi criado para Melhorar a aplicabilidade das Recomendações de Modelagem (MRs ou RMs) - Torná-las independentes e tem o objetivo de tornar as MRs independentes no futuro para facilitar sua utilização e aplicação.

A Q36 está relacionada a tarefa *Verificar Restrições (FC. Feature Constraints) - Verifiy Feature Constraints (FC)*. O especialista N° 1 responde tal questão com uma pergunta: “*o levantamento das restrições não deveria ser antes/durante a aplicação das modelagens de recomendação?*”. Essa questão foi considerada e codificada como Estabelecer diferentes momentos de aplicação das Restrições (Constraints). A ideia é organizar, futuramente, a criação de níveis das restrições (antes e durante) para melhorar a consistência durante a modelagem. Os especialistas N° 3 e N° 4 acreditam na facilidade do subprocesso, respectivamente, a tarefa “*está bem descrita e de fácil compreensão*” e “*não encontrei dificuldades para entender e verificar as restrições*”. O especialista N° 6 acha que “*esse processo é complicado para pessoas com pouca experiência SPL e FeatureIDE. Na indústria de software não é comum utilizar ferramentas como o FeatureIDE*”. Assim, o código foi definido como Pouca experiência com SPL e o impacto na modelagem de Restrições com a FeatureIDE. Esse código guiará uma reflexão futura de quando melhorar a aplicação das restrições utilizando a *FeatureIDE*, considerando pessoas que não conhecem SPL ou LPS.

Na Q37, a tarefa *Aplicar Restrições - Apply Feature Constraints (FC)* foi avaliada. Os especialistas N° 3, N° 4 e N° 5 responderam, respectivamente, a tarefa “*está bem descrita e de fácil compreensão*”, “*a aplicação das restrições é essencial*”

para uma modelagem adequada” e o “processo foi bem descrito e isso facilita a sua aplicabilidade”. Um código foi criado para destacar que A modelagem é adequada com a aplicação das Restrições (Constraints).

Os especialistas N° 2 e N° 5 não responderam as questões sobre as tarefas do Subprocesso ProVarMod4CPS.

Os códigos estabelecidos nesta discussão, referente as tarefas do Subprocesso do ProVarMod4CPS, serão investigados e aplicados em trabalhos futuros para evoluir o processo.

Nas Questões Q41 e Q42 (Apêndice C.6), todos os seis especialistas responderam sobre a **Utilização do ProVarMod4CPS na Indústria**. A Figura 70 apresenta uma rede com diferentes situações codificadas sobre a utilização do processo na indústria.



**Figura 70. Rede com Associações à Codificação Utilização do ProVarMod4CPS na Indústria.**

O especialista N° 1 comenta que “*seria importante uma ferramenta de suporte ao uso do processo*”, ressaltando que há muitas recomendações de modelagem “*e é um processo de modelagem demorado*”. Assim, o código Desenvolver uma ferramenta de apoio ao processo foi criado por causa da necessidade de uma ferramenta, a qual será desenvolvida em trabalhos futuros (CAPÍTULO 8 - Seção 8.4). Sobre a complexidade do ProVarMod4CPS, o especialista N° 1 acredita que “*a parte complexa seria na definição das features em acordo com os TVs e OV's*”, além de que “*o documento para a indústria precisasse ser um pouco mais direto*”. A complexidade é definida por meio do código Complexidade na definição das características associadas as TVs e OV's e, pretende-se, desenvolver uma documentação específica futuramente para a indústria com base no código Necessidade de uma documentação mais direta para a indústria.

O especialista N° 2 afirma que *“falta de um processo específico para este domínio”*. O código Definir processos para domínios específicos de SCF foi criado com o objetivo de criar futuras versões específicas do ProVarMod4CPS para domínios distintos como, por exemplo, agricultura ou cidades inteligentes.

O especialista N° 3 comenta que a *“apresentação gráfica curta exige uma carga de aprendizado maior para lembrar as demais tarefas apresentadas na figura completa”* e *“há uma curva de aprendizado”*. Esses trechos foram codificados como Curva de aprendizado maior para compreender o processo. Contudo, o especialista N° 3 acredita na facilidade do processo e comenta que *“mas ainda que seja complexo no início, acredito que o processo facilite a modelagem de variabilidades de sistemas Cyber-Físicos”*. Essa curva de aprendizado pode ser minimizada no futuro, utilizando técnicas de usabilidade para melhorar o ProVarMod4CPS.

O especialista N° 4 corrobora com o comentário do especialista N° 3 e afirma que *“uma vez que o processo é estudado, pode-se perceber claramente a contribuição do mesmo para a modelagem de características para CPS”*. Assim, um código foi definido para o ProVarMod4CPS como Contribui para a modelagem de características de SCF. Ainda o especialista N° 4 afirma que *“o mais complexo seria consultar todos os artefatos para executar o processo”*, sendo assim, o código Complexidade em consultar os artefatos foi criado. A complexidade pode ser minimizada no futuro a partir de uma melhor divisão das responsabilidades dos artefatos contidos no ProVarMod4CPS.

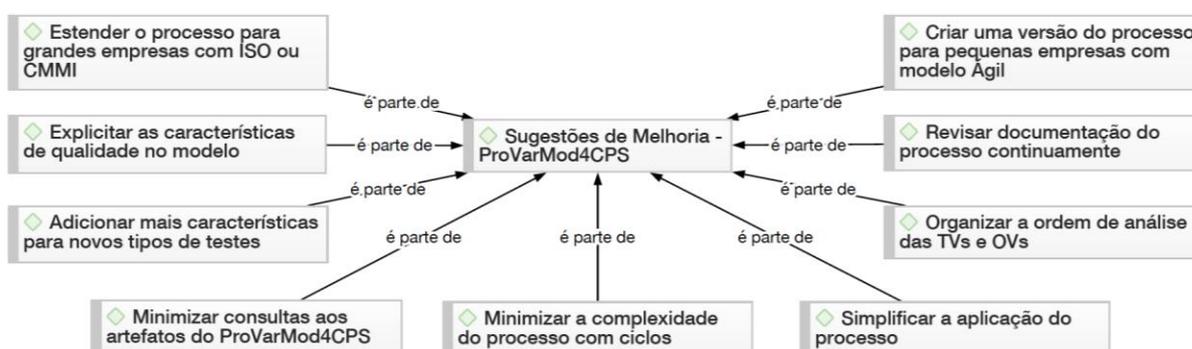
Em relação a facilidade e compreensão do ProVarMod4CPS, o especialista N° 5 corrobora com os comentários dos especialistas N° 3 e N° 4, afirmando que *“a indústria tem muitas características para lidar e este processo de modelagem facilita a compreensão das variabilidades técnicas de características de SCF”*. Essa afirmação foi codificada como Facilita a compreensão das TVs ou VTs de características de SCF.

O especialista N° 6 comenta que o ProVarMod4CPS *“pode ser utilizado por empresas especialmente as aderentes ao CMMI e ISO”* e *“a utilização do processo para indústria não seria uma tarefa complicada principalmente para empresas que já tem um processo de desenvolvimento software definido e maduro”*. Entretanto, para pequenas empresas *“que utilizam metodologia Ágil seria mais complicado devido ao números de passos e processos necessários”*. Portanto, os códigos Estender o processo para grandes empresas com ISO ou CMMI e Criar uma versão do processo

para pequenas empresas com modelo Ágil foram criados para afirmar tal comentário. Em trabalhos futuros, o ProVarMod4CPS pode ser simplificado e estendido para empresas com metodologias ágeis.

A Q43 (Apêndice C.6) avaliou: **Em uma escala de 0-10, quão complexo você acha que o processo é para a indústria?**. Considerando a Moda e a Mediana calculadas dos valores coletados, foi atribuída a nota 7 (Moda) e 6,5 (Mediana) sobre o quão o ProVarMod4CPS pode ser complexo para a indústria. Observando os resultados obtidos em todas essas análises, existe a necessidade de simplificar o ProVarMod4CPS e avaliá-lo em novos estudos empíricos a fim de tornar sua aplicação mais prática para adoção na indústria.

Várias **Sugestões de Melhoria - ProVarMod4CPS** foram codificadas a partir das respostas coletadas dos especialistas na Questão Q44 (Apêndice C.6). A Figura 71 representa uma rede com sugestões de melhoria para o ProVarMod4CPS codificadas a partir da análise qualitativa das respostas dos especialistas. Essas sugestões serão exploradas e aplicadas futuramente no escopo do ProVarMod4CPS.



**Figura 71. Rede com Associações à Codificação Sugestões de Melhoria - ProVarMod4CPS.**

O especialista N° 1 apresenta sua opinião geral sobre o ProVarMod4CPS com sugestões de melhoria no formato de três questionamentos diferentes: (i) “*Por que nem todas características de qualidade estão explicitamente no modelo?*”; (ii) “*Por que o processo só fala em 2 tipos de testes?*”; (iii) “*Será que uma ordem de análise das TVs e OV's facilitaria o uso (exemplo, analisar a TV.1 em conjunto com TV.6)?*”. Essas sugestões foram codificadas por meio dos códigos: Explicitar as características de qualidade no modelo, Adicionar mais características para novos tipos de testes e Organizar a ordem de análise das TVs e OV's. Essas melhorias serão exploradas e aplicadas futuramente no escopo do ProVarMod4CPS.

Além disso, o especialista N° 1 achou a “*aplicação do processo ficou um pouco longo*” e sugeriu aplicar o ProVarMod4CPS “*talvez pensando em uma aplicação em etapas ou ciclos ajude a minimizar a complexidade do uso do processo*”. O especialista N° 4 também acha o que “*o processo ProVarMod4CPS é complexo para entender*”. O código Simplificar a aplicação do processo foi definido para manter a aplicação mais simples ao longo do tempo. O código Minimizar a complexidade do processo com ciclos foi criado para investigar, no futuro, a adaptação do ProVarMod4CPS em ciclos de aplicação.

O especialista N° 3 comentou que “*a documentação como um todo está muito bem escrita e desenvolvida*”. Tal especialista não forneceu nenhuma sugestão para melhorar o ProVarMod4CPS. Em adição, o especialista N° 4 mencionou que “*vale destacar o escopo bem definido do processo e objetivo associado com o mesmo*”. Portanto, observando tais indícios o ProVarMod4CPS tem uma boa documentação, aliada a um escopo e objetivos bem definidos. Contudo, o código Revisar documentação do processo continuamente foi definido para manter a documentação do ProVarMod4CPS sempre atualizada ao longo do tempo.

O especialista N° 4 menciona a aplicação dos artefatos do ProVarMod4CPS por meio dos comentários: “*durante o estudo do processo, tais artefatos foram interessantes*” e “*durante a execução do processo, entendo que eventuais consultas a todos esses artefatos pode se tornar um problema*”. O código Minimizar consultas aos artefatos do ProVarMod4CPS foi definido para investigar, futuramente, a possibilidade de reduzir a quantidade de consultas aos artefatos do ProVarMod4CPS durante a modelagem.

O especialista N° 6 destaca que o ProVarMod4CPS “*é muito interessante para grandes empresa de desenvolvimento que tem o processo de desenvolvimento de software bem definido/maduro e já utilizam normas ISO ou CMMI*”. Entretanto, o especialista N° 6 comenta que ProVarMod4CPS “*seria inviável devido a complexidade do modelo*” no contexto de “*empresa pequenas ou que desenvolvem software usando modelo Ágil*”. Esses comentários foram úteis para a criação dos códigos Estender o processo para grandes empresas com ISO ou CMMI e Criar uma versão do processo para pequenas empresas com modelo Ágil. Como o ProVarMod4CPS está em melhoria contínua, no futuro, o processo pode ser estendido para atender diferentes ISOs e o modelo de maturidade CMMI, além da possibilidade da criação de uma nova versão exclusiva para utilizar metodologias ágeis.

Os especialistas Nº 2 e Nº 5 não descreveram suas opiniões gerais e sugestões de melhoria para o ProVarMod4CPS.

### 7.3 Ameaças à validade da avaliação

Esta seção apresenta as principais ameaças à validade desta avaliação:

**Ameaças à validade de *constructo*.** Um projeto piloto não foi conduzido com pelo menos um especialista com conhecimento em LPS para avaliar a instrumentação do estudo. O universo de participantes era restrito (N = 6) e foram consideradas todas as respostas válidas dos especialistas que participaram desta avaliação. O questionário tem questões abertas para ampliar a obtenção do *feedback* dos especialistas e permite realizar o processo de codificação.

**Ameaças à validade interna.** Um fator importante é a não influência e presença física entre os especialistas na avaliação. O convite e o formulário eletrônico foram enviados individualmente por e-mail para cada especialista. Durante a execução do estudo o pesquisador estava disponível de forma online (ferramentas de videoconferência ou de mensagens instantâneas) para atender os especialistas em caso de dúvidas.

A maioria dos especialistas possuem pouco conhecimento em SCF e novas avaliações serão conduzidas para avaliar o ProVarMod4CPS e seus artefatos com especialistas em SCF. As respostas dos especialistas foram significantes e de boa qualidade para melhorar todos os artefatos avaliados neste estudo. Nenhum dos dados, obtidos na íntegra dos especialistas, foram descartados.

**Ameaças à validade de *conclusão*.** O universo de especialistas para este estudo é restrito (N = 6). Uma quantidade reduzida de especialistas aceitou participar do estudo. Por conta da natureza qualitativa do estudo, a quantidade não é um fator de maior importância. Neste estudo o conhecimento e a experiência dos especialistas são considerados os fatores de maior relevância.

**Ameaças à validade externa.** Não foram utilizadas LPS comerciais, apenas a LPS *Arable Farming* (Anexo A) e *Smart Street Light* (Anexo B). A LPS *Smart Street Light* foi utilizada como exemplo de aplicação do ProVarMod4CPS. A LPS *Arable Farming* foi utilizada para a modelagem efetiva das características no estudo. A obtenção de especialistas (docentes ou profissionais) com conhecimento ou experiência em ambas as áreas de SCF e LPS, foi uma das grandes dificuldades para a condução desta avaliação.

Em síntese, neste estudo foi conduzido modelagens em diferentes domínios de aplicação para caracterizar e melhorar o ProVarMod4CPS e seus artefatos por especialistas de LPS. Os especialistas responderam um questionário com questões abertas sobre as características dos domínios de agricultura e cidades inteligentes. As características foram analisadas e modeladas por meio da consulta do artefato *Feature Model* do ProVarMod4CPS - *Feature Model*, e avaliadas por meio da aplicação do artefato Diretrizes (*Guidelines*) do ProVarMod4CPS.

#### **7.4 Considerações sobre o capítulo**

Neste capítulo um estudo foi conduzido com especialistas em LPS para caracterizar a compreensão e melhorar o ProVarMod4CPS e seus artefatos. Com a análise e interpretação dos resultados desta avaliação foram identificadas respostas que corroboraram com evidências positivas sobre entendimento ou compreensão do ProVarMod4CPS e seus artefatos. Os especialistas forneceram bons *feedbacks* (respostas) sobre o ProVarMod4CPS. Dentre os resultados, os *feedbacks* foram codificados como recomendações e sugestões de melhoria para o ProVarMod4CPS.

As respostas desses especialistas e a discussão dos códigos são fundamentais para a evolução contínua do ProVarMod4CPS e seus artefatos. Essa avaliação permitiu identificar em quais pontos direcionar esforços futuros para refinar novas versões do ProVarMod4CPS. O corpo de conhecimento obtido nesta avaliação permitirá adequar vários pontos do ProVarMod4CPS para sua melhor aplicação no ambiente acadêmico e na indústria.

## CAPÍTULO 8 - CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as considerações finais acerca da conclusão desta tese. São discutidas a relevância, as contribuições, as limitações e os trabalhos futuros desta pesquisa.

### 8.1 Relevância da pesquisa

A modelagem em SCF é explorada em vários projetos de pesquisa com estudos que propõem diversas abordagens, estratégias e técnicas. Apesar de todos os projetos de pesquisa e estudos existentes que buscam facilitar a modelagem de variabilidades em SCF, a modelagem neste contexto é um problema desafiador em um cenário cada vez mais complexo, heterogêneo e com alta interoperabilidade. Modelar sistemática de variabilidades em SCF não é uma atividade trivial por causa da ampla quantidade de variabilidades relacionadas às características funcionais e não-funcionais desta classe de sistema (RABISER e ZOITL, 2021).

Os estudos selecionados como trabalhos relacionados nas revisões sistemáticas conduzidas nesta pesquisa foram comparados com a solução principal desta tese (denominada ProVarMod4CPS). Estudos distintos apresentam diversas abordagens manuais, semiautomatizadas e automatizadas para lidar com a modelagem sistemática de variabilidades em SCF. Percebe-se que a automatização das variabilidades nos estudos por meio de ferramentas, *scripts* e/ou algoritmos se mostra eficiente em pequenos experimentos no âmbito acadêmico e industrial. No entanto, é fundamental compreender sistematicamente as principais características e as suas variabilidades, antes mesmo de automatizar a modelagem de variabilidades a fim de evitar a propagação de problemas de projeto em SCF.

A articulação em direção a sistematização da modelagem de variabilidades em SCF foi discutida nesta pesquisa perante trabalhos relacionados da literatura de SCF, incluindo: sistemas de produção ciber-físicos; a divisão de responsabilidades em tipos distintos de variabilidades em diferentes granularidades (produto-processo-recurso, variabilidade de segurança, variabilidades de negócio, variabilidades de mecatrônica, entre outras); a proposta de abordagens de modelagem multi passo ou multi

paradigma; e classificações de aspectos e variabilidades de poucos estudos com representações utilizando ontologias e utilizando diagramas distintos da UML (classe ou componente).

A originalidade e relevância desta pesquisa está em posicionar e realizar a modelagem sistemática de variabilidades das principais características de SCF de maneira proativa com a distribuição da modelagem em variabilidades técnicas e organizacionais. Primeiro, foi necessário compreender e guiar a modelagem de variabilidades de SCF, auxiliando especialistas na engenharia de domínio moderna de LPS em tempo de projeto. Assim, pôde-se minimizar a má compreensão das variabilidades que emergem em diferentes domínios de SCF para evitar inconsistências nas principais características de SCF durante a modelagem de variabilidades. Acredita-se que uma solução única com a formalização das características principais de SCF é um caminho para auxiliar na identificação e na modelagem das variabilidades técnicas e organizacionais no projeto de SCF.

Esta pesquisa visa fornecer uma melhor compreensão das características em SCF para guiar a modelagem sistemática de variabilidades de SCF e auxiliar especialistas ou profissionais proativamente. As principais características de SCF foram classificadas a partir da literatura (por exemplo, KRÜGER *et al.*, 2017) com o objetivo de responder a seguinte questão de pesquisa: **como modelar variabilidades de características principais de SCF com suporte da engenharia de domínio de LPS com base na estratégia proativa?**

Para responder a questão de pesquisa, as atividades da DSR foram realizadas sistematicamente a partir da abordagem centrada no problema para projetar e avaliar a solução principal desta pesquisa chamada ProVarMod4CPS. Após a realização das atividades da DSR, a questão de pesquisa foi respondida com base no desenvolvimento do objetivo principal/geral de **especificar um processo sistemático para auxiliar na modelagem de variabilidades técnicas e organizacionais de características principais de SCF com suporte da engenharia de domínio de LPS com base na estratégia proativa**. O processo ProVarMod4CPS é representado em BPMN com atividades, tarefas, papéis, artefatos e um subprocesso para modelagem sistemática de variabilidades em SCF. A próxima seção destaca o ProVarMod4CPS com uma das principais contribuições desta pesquisa.

## 8.2 Contribuições da pesquisa

As contribuições da pesquisa são apresentadas em dois momentos. No primeiro momento, são apresentadas as contribuições perante os resultados obtidos durante a condução desta pesquisa. No segundo momento, são apresentadas as contribuições relacionadas ao ProVarMod4CPS e seus artefatos.

Com base nos resultados obtidos, têm-se duas contribuições principais:

- Duas RSLs foram conduzidas para compreender o estado da arte entre a aplicação da engenharia de LPS e a atividade de GV nas áreas de IoT e SCF (subseção 4.3.1.1). A primeira RSL entre LPS, IoT e GV foi publicada em 2020. Na segunda RSL entre SCF e GV, trabalhos relacionados foram identificados para comparar o ProVarMod4CPS e diferenciar sua originalidade e/ou ineditismo enquanto solução principal desta pesquisa (Seção 3.1). Com a condução das duas RSLs foi possível fortalecer o entendimento da problemática e lacunas em relação a dificuldade existente na modelagem de variabilidades em SCF. Esse cenário motivou o desenvolvimento do ProVarMod4CPS em busca de uma solução para a problemática em modelar variabilidades de características de SCF;
- Projeto e avaliação do ProVarMod4CPS e seus artefatos como as principais contribuições desta pesquisa enquanto uma solução principal (artefato) de modelagem para as áreas de SCF e LPS. Duas avaliações empíricas qualitativas foram conduzidas para avaliar o ProVarMod4CPS, corroborando para a sua melhoria contínua e evolução ao longo do tempo. O ProVarMod4CPS e seus artefatos serão disponibilizados no repositório Mendeley Data para propiciar o compartilhamento dos seus artefatos e sua transferência tecnológica para a comunidade científica e profissionais da indústria.

O processo ProVarMod4CPS e seus artefatos ajudam pesquisadores e profissionais na compreensão da modelagem de variabilidades das principais características de SCF em tempo de projeto, sendo cinco contribuições principais:

- Criação do processo ProVarMod4CPS e do seu subprocesso baseados na utilização da representação e especificação estabelecida pela BPMN. Os elementos do ProVarMod4CPS foram organizados e estruturados por meio da BPM com a objetivo de facilitar a modelagem de variabilidades

de SCF para permitir a visualização e adoção dos seus artefatos (*feature model*, diretrizes (*guidelines*) e a *checklist*) por pesquisadores ou profissionais;

- Representação e classificação das principais características de SCF. Não há uma classificação como a realizada nesta pesquisa. Essa classificação pretende ajudar pesquisadores e profissionais no entendimento das principais características de SCF. Para isso, um *feature model*, chamado *ProVarMod4CPS - Feature Model*, foi criado. O modelo utiliza conceitos da engenharia de domínio moderna de LPS e representa as principais características classificadas e especificadas como variabilidades técnicas e organizacionais de SCF. Esse modelo é apoiado por um conjunto de diretrizes (*guidelines*) que formalizam e auxiliam na modelagem de variabilidades;
- Especificação e disponibilização de um conjunto de diretrizes estruturadas como um artefato, denominado *Guidelines*, contido no escopo *ProVarMod4CPS*. As diretrizes foram especificadas a partir das características da literatura, relacionadas com o *ProVarMod4CPS - Feature Model*. Os artefatos combinados auxiliam na modelagem de variabilidades de SCF com o apoio da estratégia proativa da engenharia moderna de LPS em tempo de projeto;
- Elaboração de um *Checklist* (artefato) para instanciar e favorecer a aplicação prática dos artefatos *ProVarMod4CPS - Feature Model* e *Guidelines*. O objetivo principal da *checklist* é ajudar e guiar os especialistas sobre “o que” modelar fornecendo recomendações de melhoria para a modelagem abrangendo as variabilidades técnicas e organizacionais das principais características de SCF;
- Compartilhamento de exemplos de aplicação relacionados ao artefato *Checklist* do *ProVarMod4CPS* no domínio da agricultura arável (LPS Arable Farming) por meio da instanciação desses exemplos na *checklist*.

### 8.3 Limitações da pesquisa

As principais limitações desta pesquisa são acerca do ProVarMod4CPS e nas avaliações desta pesquisa. As limitações emergiram após a realização das atividades de demonstrar e avaliar do método DSR, adotado como estratégia desta pesquisa.

As limitações desta pesquisa em relação ao ProVarMod4CPS são:

- Há uma grande quantidade de variabilidades que podem estar ausentes, ou que não foram abordadas no escopo do ProVarMod4CPS. As variabilidades estão associadas aos tipos de características entre SCF e LPS. Entretanto, não há uma taxonomia que apresente a interação concreta entre a vasta quantidade de características e suas variabilidades que devem ou não ocorrer em SCF e LPS. Esta descoberta revelou a necessidade de entender de maneira cautelosa possíveis características principais que podem emergir a fim de minimizar a falta de características de SCF, relacionadas as suas variabilidades em LPS;
- O tipo de representação das características do artefato *ProVarMod4CPS* – *Feature Model* é considerado uma limitação desta pesquisa. As características foram representadas em um *feature model* que possui um formato simples e hierárquico (árvore). É necessário estender tal modelo para novas representações, linguagens ou *frameworks* existentes com o objetivo de expandir e flexibilizar sua representação, principalmente, na aplicação semântica (limitada em restrições (*constraints*) no *feature model*);
- A BPMN foi adotada como representação para criar o processo e o subprocesso do ProVarMod4CPS. Esse tipo de representação é simples para entendimento, sendo comumente conhecida e aplicada na indústria. Contudo, o BPMN é escalável para processos de negócio, limitando sua aplicação técnica para representar SCF, demandando adaptações. Assim, existe a possibilidade de dificultar a utilização dos elementos da BPMN (atividades e tarefas) na prática, apesar de ser uma possível contribuição para a extensão da representação BPMN para novas classes de sistemas, neste caso, SCF ou IoT;
- O artefato *Guidelines*, que contém as diretrizes especificadas para modelagem, são de alto nível e podem ser de difícil entendimento prático

por profissionais da indústria. No entanto, as diretrizes têm um bom nível de detalhamento e instanciação com exemplos de aplicação pontuais para domínios diferentes (agricultura e cidades inteligentes), principalmente, na agricultura. Para facilitar a adoção do artefato *Guidelines*, o artefato *Checklist* foi criado com questões assertivas para guiar especialistas durante a modelagem a fim de mitigar a limitação referente ao alto nível das especificações das diretrizes;

- O artefato *Checklist* não foi avaliado na íntegra e seu *checklist* não foi automatizado. Algumas questões contidas na *checklist* podem ser pouco ou muito utilizadas, sendo passíveis de automatização no futuro. Assim, o *checklist* poderá ser semiautomatizado em novos estudos relacionados com esta pesquisa.

Além das limitações desta pesquisa perante a solução ProVarMod4CPS e seus artefatos, as avaliações empíricas qualitativas conduzidas nesta pesquisa têm duas principais limitações:

- Dificuldade em encontrar LPS comerciais compartilhadas pela indústria por meio de relatórios de experiência ou documentos que contenham um nível de detalhamento satisfatório/ideal das LPSs para propiciar a aplicação dos artefatos do ProVarMod4CPS nas avaliações. Parcerias com a indústria em trabalhos futuros poderão mitigar tal limitação;
- O universo de participantes é restrito por causa do conhecimento exigido em ambas as áreas de SCF e LPS no Brasil. No entanto, as avaliações permitiram identificar e estabelecer melhorias futuras para o ProVarMod4CPS e seus artefatos.

Enfim, outras áreas da computação poderiam contribuir para a identificação e classificação das características e suas variabilidades em SCF. Por exemplo, a área de Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*), com ênfase em redes neurais profundas (*Deep Learning*), pode ser aplicada em LPS e no GV. Esse tipo de aplicação é discutido brevemente no estudo de Ghofrani *et al.* (2019). Esse caminho pode ser eficaz para auxiliar na evolução da modelagem sistemática de variabilidades de SCF. Porém, é necessário cautela e adequação do que deve ou não ser representado e automatizado. Isso evitará que não haja a falta de compreensão das características reais em SCF e suas variabilidades no contexto da engenharia de domínio moderna de LPS, além de evitar problemas de projeto em SCF.

## 8.4 Trabalhos futuros

Esta pesquisa continuará com o desenvolvimento de novas versões do ProVarMod4CPS para facilitar sua adoção no meio acadêmico e aplicação prática em ambientes industriais por meio dos seguintes trabalhos futuros:

- Conduzir novos estudos empíricos utilizando o ProVarMod4CPS em ambientes acadêmicos e industriais com especialistas de SCF;
- Aplicar o ProVarMod4CPS na modelagem de variabilidades em novas LPS reais ou comerciais com SCF existentes na indústria;
- Investigar a inclusão de pelo menos novos tipos de variabilidades em SCF para estender os artefatos do ProVarMod4CPS. Por exemplo, variabilidades de características de segurança ou modelo de dados;
- Explorar a viabilidade prática do artefato *checklist* para sua possível automação parcial na modelagem de variabilidades em SCF;
- Investigar a adaptação de novos tipos de representação para estender a modelagem de variabilidades do ProVarMod4CPS, incluindo UML e Padrões de Projeto (*Design Patterns*);
- Criar um mecanismo semiautomatizado com pontos de variação para delimitar e representar as características (features) do *feature model* do ProVarMod4CPS como variantes e variabilidades em SCF;
- Utilizar linguagens de programação interpretadas como Python e JavaScript para implementar um mecanismo semântico flexível e aplicado aos artefatos do ProVarMod4CPS para modelagem de variabilidades de SCF;
- Explorar o recurso de *annotations* no contexto de LPS para estender as variabilidades em SCF contidas no ProVarMod4CPS;
- Investigar a aplicação de redes neurais em LPS para estender a modelagem de variabilidades em SCF no escopo do ProVarMod4CPS;
- Implementar um conjunto de ferramentas de apoio (Eclipse IDE *plug-ins*) para facilitar a modelagem de variabilidades em SCF e adoção do ProVarMod4CPS na indústria;
- Avaliar o ensino e a aprendizagem de SCF por meio de variabilidades e a engenharia moderna de LPS. Estudar a representação e a interação com variabilidades em diferentes domínios de aplicação (agricultura e

idades inteligentes) utilizando dispositivos como Arduino, Raspberry Pi, Lego Serious Play e Xbox Kinect;

- Explorar a usabilidade de dispositivos móveis (Android e iOS) para desenvolver aplicativos para diferentes domínios de aplicação com LPS em SCF. Por exemplo, agricultura ou cidades inteligentes;
- Investigar os impactos na aplicação dos conceitos da Dívida Técnica na modelagem de variabilidades em SCF na indústria. Um plano de avaliação econômica poderá ser desenvolvido para tal contexto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (ADHIKARI *et al.*, 2015) ADHIKARI, M.; KAR, S.; BANERJEE, S.; BISWAS, U. Big Data Analysis for Cyber-Physical Systems. In: *Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice*. CRC Press, p. 493-525, 2015.
- (AHMADI *et al.*, 2017) AHMADI, A.; CHERIFI, C.; CHEUTET, V.; OUZRUT, Y. A review of CPS 5 components architecture for manufacturing based on standards. In: *Proceedings of the International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA)*, p. 1-6, 2017.
- (AJILA; TIERNEY, 2002) AJILA, S.; TIERNEY, P. The FOOM Method: Modeling Software Product Lines in Industrial Settings. In: *Proceedings of the International Conference on Software Engineering Research and Practice (SERP)*, p. 1-11, 2002.
- (AL-ALI *et al.*, 2020) AL-ALI, R.; AMRANI, M.; BANDYOPADHYAY, S.; BARISIC, A.; BARROS, F.; BLOUIN, D.; ERATA, F.; GIESE, H.; IACONO, M.; KLIKOVITS, S.; NAVARRO, E.; PELLICCIONE, P.; TAVETER, K.; TEKINERDOGAN, B.; VANHERPEN, K. COST IC1404 WG1 Deliverable WG1.2: Framework to Relate / Combine Modeling Languages and Techniques, Relatório Técnico, 2020.
- (ALMEIDA, 2019) ALMEIDA, E. S. Software Reuse and Product Line Engineering. *Handbook of Software Engineering*. Springer, Cap. 8, p. 321–348, 2019.
- (ALUR, 2015) ALUR, R. *Principles of Cyber-Physical Systems*. MIT Press, 2015.
- (AN *et al.*, 2017) AN, W.; WU, D.; CI, S.; LUO, H.; ADAMCHUK, V.; XU, Z. Agriculture Cyber-Physical Systems. In: *Cyber-Physical Systems - Foundations, Principles and Applications*, p. 399-417, 2017.
- (ANDRADE *et al.*, 2021) ANDRADE, R. M. C.; ARAGÃO, B. R.; OLIVEIRA, P. A. M.; MAIA, M. E. F.; VIANA, W.; NOGUEIRA, T. P. Multifaceted infrastructure for self-adaptive IoT systems. *Information and Software Technology*, v. 132, p. 106505, 2021.
- (APEL *et al.*, 2013) APEL, S.; BATORY, D.; KÄSTNER, C.; SAAKE, G. *Feature-Oriented Software Product Lines*. 1ª ed. Berlin: Springer, 2013.
- (ARRIETA *et al.*, 2015) ARRIETA, A.; SAGARDUI, G.; ETXEBERRIA, L. Cyber-Physical Systems Product Lines: Variability Analysis and Challenges. *Actas VI Jornadas Computación Empotrada (JCE)*, p. 1-10, 2015.
- BARIŠIĆ, A.; RUCHKIN, I.; SAVIĆ, D.; MOHAMED, M. A.; AL-ALI, R.; LI, L. W.; MKAOUAR, H.; ESLAMPANAH, R.; CHALLENGER, M.; BLOUIN, D.; NIKIFOROVA, O.; CICCETTI, A. Multi-paradigm modeling for cyber-physical systems: A systematic mapping review. *Journal of Systems and Software*, v. 183, p. 111081, 2022.
- (BASILI *et al.*, 1994) BASILI, V. R.; CALDIERA, G.; ROMBACH, H. D. The GQM approach. In: *Encyclopedia of Software Engineering*. Wiley, 1994.

(BIZAGI, 2020) BIZAGI, Modeler. Version 3.7.0.123. Bizagi Ltd., 2020.  
Disponível em: <https://www.bizagi.com/en/platform/modeler>.

(BATORY, 2005) BATORY, D. Feature Models, Grammars, and Propositional Formulas. *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, v. 3714, 2005.

(BATORY *et al.*, 2004) BATORY, D.; SARVELA, J. N.; RAUSCHMAYER, A. Scaling step-wise refinement. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 30, n. 6, p. 355-371, 2004.

(BECKER, M.; ZHANG, B., 2018) BECKER, M.; ZHANG, B. How Do Our Neighbours Do Product Line Engineering? In: *Proceedings of the International Conference on Systems and Software Product Line (SPLC)*, p. 190-195, 2018.

(BEEK *et al.*, 2018) BEEK, M. H. T.; FANTECHI, A.; GNESI, S. Product line models of large cyber-physical systems: the case of ERTMS/ETCS. In: *Proceedings of the International Conference on Systems and Software Product Line (SPLC)*, p. 208-214, 2018.

(BEHJATI *et al.*, 2012) BEHJATI, R.; YUE, T.; BRIAND, L.; SELIC, B. SimPL: A product-line modeling methodology for families of integrated control systems. *Information and Software Technology (INFOSOF)*, v. 55, n. 3, p. 607-629, 2012.

(BENNACEUR *et al.*, 2019) BENNACEUR, A.; GHEZZI, C.; TEI, K.; KEHRER, T.; WEYNS, D.; CALINESCU, R.; DUSTDAR, S.; HU, Z.; HONIDEN, S.; ISHIKAWA, F.; JIN, Z.; KRAMER, J.; LITOIU, M.; LORETI, M.; MORENO, G.; MULLER, H.; NENZI, L.; NUSEIBEH, B.; PASQUALE, L.; REISIG, W.; SCHMIDT, H.; TSIGKANOS, C.; ZHAO, H. Modelling and Analysing Resilient Cyber-Physical Systems. In: *IEEE/ACM International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (SEAMS)*, p. 70-76, 2019.

(BERGER *et al.*, 2015) BERGER, T.; LETTNER, D.; RUBIN, J.; GRÜNBAKER, P.; SILVA, A.; BECKER, M.; CHECHIK, M.; CZARNECKI, K. What is a Feature? A Qualitative Study of Features in Industrial Software Product Lines. In: *Proceedings of the International Conference on Software Product Line (SPLC)*, p. 16-25, 2015.

(BERGER *et al.*, 2019) BERGER, T.; MARSHA, C.; KEHRER, T.; WIMMER, M. Software Evolution in Time and Space: Unifying Version and Variability Management. *Dagstuhl Reports, Seminário Dagstuhl 19191*, v. 9, n. 5, p. 2192-5283, Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2019.

(BERGER *et al.*, 2013) BERGER, T.; RUBBLACK, R.; NAIR, D.; ATLEE, J. M.; BECKER, M.; CZARNECKI, K.; WASOWSKI, A. A survey of variability modeling in industrial practice. In: *Proceedings of the Seventh International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive*. ACM, p. 1-8, 2013.

(BERGER *et al.*, 2020) BERGER, T.; STEGHÖFER, J.-P.; ZIADI, T.; ROBIN, J.; MARTINEZ, J. The state of adoption and the challenges of systematic variability management in industry. *Empirical Software Engineering*, v. 25, n. 3, p. 1755-1797, 2020.

- (BHADORIA *et al.*, 2015) BHADORIA, R.; YADAV, R.; TOMAR, G. Architectural Analysis of Cyber-Physical Systems. In: *Cyber-Physical Systems: A Computational Perspective*. CRC Press, p. 49-78, 2015.
- (BIFFL *et al.*, 2021) BIFFL, S.; LÜDER, A.; MEIXNER, K.; RINKER, F.; ECKHART, M.; WINKLER, D. Multi-view-Model Risk Assessment in Cyber-Physical Production Systems Engineering. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD)*, p. 163-170, 2021.
- (BLOUIN *et al.*, 2021) BLOUIN, D.; AL-ALI, R.; IACONO, M.; TEKINERDOGAN, B.; GIESE, H. An ontological foundation for multi-paradigm modelling for cyber-physical systems. *Multi-Paradigm Modelling Approaches for Cyber-Physical Systems (MPM4CPS)*. Elsevier, Cap. 2, p. 9-43, 2021.
- (BOSCH *et al.*, 2015) BOSCH, J.; CAPILLA, R.; HILLIARD, R. Trends in systems and software variability. *IEEE Software*, v. 32, n. 3, p. 44-61, 2015.
- (BOSCH; LEE, 2010) BOSCH, J.; LEE, J. Software Product Lines: Going Beyond. In: *Proceedings of the International Conference on Software Product Line Conference (SPLC)*. Springer, p. 548, 2010.
- (BOULILA, 2019) BOULILA, N. Cyber-Physical Systems and Industry 4.0: Properties, Structure, Communication, and Behavior. Relatório Técnico. Munique: Alemanha, 2019.
- (BOULILA, 2017) BOULILA, N. Guidelines for Modeling Cyber-Physical Systems – A Three-Layered Architecture for Cyber Physical Systems. Relatório Técnico. Munique: Alemanha, 2017.
- (BROY *et al.*, 2012) BROY, M.; CENGARLE, M. V.; GEISBERGER, E. Cyber-Physical Systems: Imminent Challenges. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 7539, p. 1-28, 2012.
- (BROY; SCHMIDT, 2014) BROY, M.; SCHMIDT, A. Challenges in Engineering Cyber-Physical Systems. *IEEE Computer*, v. 47, n. 2, p. 70-72, 2014.
- (BURES *et al.*, 2014) BURES, T.; HNETYNKA, P.; PLASIL, F. Strengthening Architectures of Smart CPS by Modeling Them as Runtime Product-Lines. In: *Proceedings of the International ACM Sigsoft Symposium on Component-based Software Engineering (CBSE)*, p. 91-96, 2014.
- (CAÑETE *et al.*, 2022) CAÑETE, A.; AMOR, M.; FUENTES, L. Supporting IoT applications deployment on edge-based infrastructures using multi-layer feature models. *Journal of Systems and Software*, v. 183, p. 111086, 2022.
- (CAPILLA *et al.*, 2019) CAPILLA, R.; GALLINA, B.; CETINA, C.; FAVARO, J. Opportunities for software reuse in an uncertain world: From past to emerging trends. *Journal of Software: Evolution and Process*, v. 31, n. 8, p. 1-16, 2019.

(CAPILLA *et al.*, 2013) CAPILLA, R.; BOSCH, J.; KANG, K.-C. Systems and Software Variability Management: Concepts, Tools and Experiences. Springer, 2013.

(CARDIN, 2019) CARDIN, O. Classification of cyber-physical production systems applications: Proposition of an analysis framework. *Computers in Industry*, v. 104, p. 11-21, 2019.

(CARLETON *et al.*, 2021) CARLETON, A.; KLEIN, M.; ROBERT, J.; HARPER, E.; CUNNINGHAM, R.; DE NIZ, D.; FOREMAN, J.; GOODENOUGH, J.; HERBSLEB, J.; OZKAYA, I.; SCHMIDT, D.; SHULL, F. Architecting the Future of Software Engineering: A National Agenda for Software Engineering Research & Development. Software Engineering Institute (SEI), Carnegie Mellon University (CMU), 2021.

(CHACÓN-LUNA *et al.*, 2020) CHACÓN-LUNA, A. E.; GUTIÉRREZ, A. M.; GALINDO, J. A.; BENAVIDES, D. Empirical software product line engineering: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, v. 128, p. 106389, 2020.

(CHEN *et al.*, 2005) CHEN, K.; ZHANG, W.; ZHAO, H.; MEI, H. An approach to constructing feature models based on requirements clustering. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Requirements Engineering (RE)*, p. 31-40, 2005.

(CHEN; ALI BABAR, 2011) CHEN, L.; ALI BABAR, M. A systematic review of evaluation of variability management approaches in software product lines. *Information and Software Technology*, v. 53, n. 4, p. 344-362, 2011.

(CLEMENTS; NORTHROP, 2002) CLEMENTS, P.; NORTHROP, L. Software Product Lines: Practices and Patterns. Boston: Addison-Wesley Longman Publishing, 2002.

(CRONBACH, 1951) CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, v. 16, p. 297-334, 1951.

(CYPHERS, 2014) CYPHERS. Structuring of CPS Domain: Characteristics, trends, challenges and opportunities associated with CPS - Deliverable D2.2. Cyber-Physical European Roadmap & Strategy (CyPhERS), p. 41, 2014.

(CYPHERS, 2015) CYPHERS. Cyber-Physical European Roadmap and Strategy, 2015. Disponível em: <<http://www.cyphers.eu/>>. Acesso em: 2019.

(CZARNECKI; EISENECKER, 2000) CZARNECKI, K.; EISENECKER, U. W. Generative Programming: Methods, Tools, and Applications. Addison-Wesley, 2000.

(DEKA *et al.*, 2018) DEKA, L.; KHAN, S. M.; CHOWDHURY, M.; AYRES, N. Transportation Cyber-Physical System and its importance for future mobility. In: *Transportation Cyber-Physical System*, 1. ed, Springer, Cap. 1, p. 1-20, 2018.

- (DESHMUKH *et al.*, 2019) DESHMUKH, J. V.; MALER, O.; NICKOVIC, D. Specification Formalisms for Modern Cyber-Physical Systems. Dagstuhl Reports, Seminário Dagstuhl 19071, v. 9, n. 2, p. 48-72, Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2019.
- (DEY *et al.*, 2018) DEY, N.; ASHOUR, A. S.; SHI, F.; FONG, S. J.; TAVARES, J. M. Medical cyber-physical systems: A survey. *Journal of Medical Systems*, v. 42, n. 4, p. 74, 2018.
- (FADHLILLAH *et al.*, 2021) FADHLILLAH, H. S.; FEICHTINGER, K.; SONNLEITHNER, L.; RABISER, R.; ZOITL, A. Towards heterogeneous multi-dimensional variability modeling in cyber-physical production systems. In: *Proceedings of the 25th ACM International Systems and Software Product Line Conference - Volume B (SPLC)*, p. 123-129, 2021.
- (FADHLILLAH *et al.*, 2021a) FADHLILLAH, H. S.; WIESMAYR, B.; OBERLEHNER, M.; RABISER, R.; ZOITL, A. Towards Delta-Oriented Variability Modeling for IEC 61499. In: *Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, p. 1-4, 2021.
- (FADHLILLAH *et al.*, 2022) FADHLILLAH, H. S.; FEICHTINGER, K.; SONNLEITHNER, L.; RABISER, R.; ZOITL, A. Towards Multidisciplinary Delta-Oriented Variability Management in Cyber-Physical Production Systems. In: *Proceedings of the 16th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems (VaMoS)*, p. 1-10, 2022.
- (FEICHTINGER *et al.*, 2020) FEICHTINGER, K.; MEIXNER, K.; RABISER, R.; BIFFL, S. Variability Transformation from Industrial Engineering Artifacts. *Proceedings of the 24th ACM International Systems and Software Product Line Conference (SPLC) - Volume B*, p. 65-73, 2020.
- (FEICHTINGER *et al.*, 2021) FEICHTINGER, K.; STÖBICH, J.; ROMANO, D.; RABISER, R. TRAVART: An Approach for Transforming Variability Models. In: *Proceedings of the 15th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems (VaMoS)*, p. 1-10, 2021.
- (FELDERER; TRAVASSOS, 2020) FELDERER, M.; TRAVASSOS, G. Contemporary Empirical Methods in Software Engineering. Springer, 2020.
- (FERGUSON, 2018) FERGUSON, R. Decisions for Sustaining a Software Product Line. Software Engineering Institute (SEI) Blog, 2018. Disponível em: <https://insights.sei.cmu.edu/blog/decisions-for-sustaining-a-software-product-line/>
- (FRITZ *et al.*, 2019) FRITZ, S.; WEBER, F.; OVTCHAROVA, J. A Guideline for the Requirements Engineering Process of SMEs Regarding to the Development of CPS. In: *Proceedings of the International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)*, p. 85-94, 2019.

- (GALINDO *et al.*, 2015) GALINDO, J. A.; DHUNGANA, D.; RABISER, R.; BENAVIDES, D.; BOTTERWECK, G.; GRÜNbacher, P. Supporting distributed product configuration by integrating heterogeneous variability modeling approaches. *Information and Software Technology*, v. 62, p. 78-100, 2015.
- (GALSTER *et al.*, 2013) GALSTER, M.; WEYNS, D.; TOFAN, D.; MICHALIK, B.; AVGERIOU, P. Variability in Software Systems - A Systematic Literature Review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 40, n. 3, p. 282-306, 2013.
- (GARCÍA *et al.*, 2020) GARCÍA, S.; STRÜBER, D.; BRUGALI, D.; BERGER, T.; PELLICCIONE, P. Robotics software engineering: a perspective from the service robotics domain. In: *Proceedings of the 28th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering (ESEC/FSE)*, p. 593-604, 2020.
- (GEISBERGER; BROY, 2012) GEISBERGER, E.; BROY, M. agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems, acatech STUDIE. Springer, 2012.
- (GERALDI *et al.*, 2020) GERALDI, R. T.; REINEHR, S.; MALUCELLI, A. Software Product Line Applied to Internet of Things: A Systematic Literature Review. *Information and Software Technology (INFOSOF)*, v. 124, p. 106293, 2020.
- (GHOFRANI *et al.*, 2019) GHOFRANI, J.; KOZEGAR, E.; FEHLHABER, A. L.; SOORATI, M. D. Applying Product Line Engineering Concepts to Deep Neural Networks. In: *Proceedings of the International Systems and Software Product Line Conference (SPLC)*, p. 1-6, 2019.
- (GIESE *et al.*, 2021) GIESE, H.; BLOUIN, D.; AL-ALI, R.; MKAOUAR, H.; BANDYOPADHYAY, S.; IACONO, M.; AMRANI, M.; KLIKOVITS, S.; ERATA, F. An ontology for multi-paradigm modelling. *Multi-Paradigm Modelling Approaches for Cyber-Physical Systems (MPM4CPS)*. Elsevier, Cap. 4, p. 67-122, 2021.
- (GIL, 2006) GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- (GREENYER *et al.*, 2019) GREENYER, J.; LOCHAU, M.; VOGEL, T. Explainable Software for Cyber-Physical Systems (ES4CPS): Report from the GI Dagstuhl Seminar 19023. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, p. 73. 2019.
- (GRIFFOR *et al.*, 2017) GRIFFOR, E. R.; GREER, C.; WOLLMAN, D. A.; BURNS, M. J. Framework for Cyber-Physical Systems: Volume 1 - Overview. National Institute of Standards and Technology (NIST), p. 79, 2017.
- (GUTIERREZ *et al.*, 2021) GUTIERREZ, A.; SONNLEITHNER, L.; ZOITL, A.; RABISER, R. Ansätze zur Beherrschung der Variabilität in Software-intensiven Cyber-Physischen Produktionssystemen. *Elektrotechnik und Informationstechnik*, v. 138, n. 6, p. 321-329, 2021.
- (HALMANS; POHL, 2003) HALMANS, G.; POHL, K. Communicating the variability of a software-product family. *Software and Systems Modeling*, v. 2, n. 1, p. 15-36, 2003.

(HARDUNG *et al.*, 2004) HARDUNG, B.; KÖLZOW, T.; KRÜGER, A. Reuse of Software in Distributed Embedded Automotive Systems. In: *Proceedings of the ACM International Conference on Embedded Software (EMSOFT)*, p. 203-210, 2004.

(HEHENBERGER *et al.*, 2016) HEHENBERGER, P.; VOGEL-HEUSER, B.; BRADLEY, D.; EYNARD, B.; TOMIYAMA, T.; ACHICHE, S. Design, modelling, simulation and integration of cyber physical systems: Methods and applications. *Computers in Industry*, v. 82, p. 273-289, 2016.

(HEIN *et al.*, 2000) HEIN, A.; SCHLICK, M.; VINGA-MARTINS, R. Applying Feature Models in Industrial Settings. *Software Product Lines*, p. 47-70, 2000.

(HERMANN *et al.*, 2016) HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. In: *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, p. 3928-3937, 2016.

(HOFER, 2018) HOFER, F. Architecture, technologies and challenges for cyber-physical systems in industry 4.0: a systematic mapping study. In: *Proceedings of the 12th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM)*. ACM, p. 1-10, 2018.

(IGLESIAS *et al.*, 2017) IGLESIAS, A.; LU, H.; ARELLANO, C.; YUE, T.; ALI, S.; SAGARDUI, G. Product Line Engineering of Monitoring Functionality in Industrial Cyber-Physical Systems: A Domain Analysis. In: *Proceedings of the International Systems and Software Product Line Conference - Volume A (SPLC)*, p. 195-204, 2017.

(IGLESIAS-URKIA *et al.*, 2020) IGLESIAS, A.; LU, H.; ARELLANO, C.; YUE, T.; ALI, S.; SAGARDUI, G. TRILATERAL: A Model-Based Approach for Industrial CPS – Monitoring and Control. *Communications in Computer and Information Science book series (CCIS)*, p. 376-398, 2020.

(ISLAM; AZIM, 2018) ISLAM, N.; AZIM, A. Assuring the runtime behavior of self-adaptive cyber-physical systems using feature modeling. In: *Proceedings of the International Conference on Computer Science and Software Engineering (CASCON)*, p. 48-59, 2018.

(ISO/IEC, 2017) ISO/IEC. Software and systems engineering - Methods and tools for variability modelling in software and systems product line, Standard 26558:2017. 2017. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/43117.html>

(ISO/IEC, 2015) ISO/IEC. Software and systems engineering - Reference model for product line engineering and management, Standard 26550:2015. 2015. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/69529.html>

(ISO/IEC, 2019) ISO/IEC. Software and systems engineering - Tools and methods for product line product management, Standard 26560:2019. 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/43119.html>

(ISO/IEC, 2018) ISO/IEC. Software and systems engineering - Tools and methods for product line realization, Standard 26553:2018. 2018.

Disponível em: <https://www.iso.org/standard/43112.html>

(JEDLITSCHKA et al., 2008) JEDLITSCHKA, A.; CIOLKOWSKI, M.; PFAHL, D. Reporting Experiments in Software Engineering. In: Guide to Advanced Empirical Software Engineering. Springer, 2008.

(JIANG, 2018) JIANG, J.-R. An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. *Advances in Mechanical Engineering*, v. 10, n. 6, p. 1-15, 2018.

(JURISTO; MORENO, 2010) JURISTO, N.; MORENO, A. M. Basics of Software Engineering Experimentation. Springer, 2010.

(KAGERMANN *et al.*, 2013) KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. German National Academy of Science and Engineering, p. 1-84, 2013.

(KANG *et al.*, 1990) KANG, K. C.; COHEN, S. G.; HESS, J. A.; NOVAK, W. E.; PETERSON, A. S. Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study: CMU/SEI-90TR-21. Software Engineering Institute (SEI), p. 161, 1990.

(KANG *et al.*, 1998) KANG, K. C.; KIM, S.; LEE, J.; KIM, K.; SHIN, E.; HUH, M. FORM: A feature-oriented reuse method with domain-specific reference architectures. *Annals of Software Engineering (Springer)*, v. 5, p. 143-168, 1998.

(KHAITAN; MCCALLEY, 2015) KHAITAN, S. K.; MCCALLEY, J. D. Design Techniques and Applications of Cyberphysical Systems: A Survey. *IEEE Systems Journal*, v. 9, n. 2, p. 350-365, 2015.

(KIM; KUMAR, 2012) KIM, K.-D.; KUMAR, P. R. Cyber-Physical Systems: A Perspective at the Centennial. *Proceedings of the IEEE*, v. 100, n. Special Centennial Issue, p. 1287-1308, 2012.

(KITCHENHAM *et al.*, 2005) KITCHENHAM, B.; BUDGEN, D.; BRERETON, P. Evidence-Based Software Engineering and Systematic Reviews. CRC Press, 2005.

(KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) KITCHENHAM, B. A.; CHARTERS, S. Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering (EBSE Technical Report - EBSE-2007-01), p. 1-57, 2007.

(KLIMEŠ, 2014) KLIMEŠ, J. Using Formal Concept Analysis for Control in Cyber-physical Systems. *Procedia Engineering*, v. 69, p. 1518-1522, 2014.

(KNEER; KAMSTIES, 2016) KNEER, F.; KAMSTIES, E. A Case Study on Self-configuring Systems in IoT Based on a Model-Driven Prototyping Approach. In: *Proceedings of the International Conference Communications in Computer and Information Science (ICIST)*, p. 732-741, 2016.

- (KRÜGER *et al.*, 2017) KRÜGER, J.; NIELEBOCK, S.; KRIETER, S.; DIEDRICH, C.; LEICH, T.; SAAKE, G.; ZUG, S.; ORTMEIER, F. Beyond Software Product Lines: Variability Modeling in Cyber-Physical Systems. In: *Proceedings of the International Systems and Software Product Line Conference - Volume A (SPLC)*, p. 237-241, 2017.
- (KRÜGER *et al.*, 2018) KRÜGER, J.; GU, W.; SHEN, H.; MUKELABAI, M.; HEBIG, R.; BERGER, T. Towards a Better Understanding of Software Features and Their Characteristics. In: *Proceedings of the International Workshop on Variability Modelling of Software-Intensive Systems (VaMoS)*, p. 105-112, 2018.
- (KRÜGER *et al.*, 2019) KRÜGER, J.; MUKELABAI, M.; GU, W.; SHEN, H.; HEBIG, R.; BERGER, T. Where is my feature and what is it about? A case study on recovering feature facets. *Journal of Systems and Software*, v. 152, p. 239-253, 2019.
- (KRÜGER *et al.*, 2020) KRÜGER, J.; MAHMOOD, W.; BERGER, T. Promote-pl: A Round-Trip Engineering Process Model for Adopting and Evolving Product Lines. In: *Proceedings of the ACM Conference on Systems and Software Product Line: Volume A (SPLC)*, p. 1-12, 2020.
- (KRUEGER, 2002) KRUEGER, C. W. Easing the Transition to Software Mass Customization. *Software Product-Family Engineering (PFE) - Lecture Notes in Computer Science (2290)*, p. 282-293, 2002.
- (KRUEGER, 2002a) KRUEGER, C. W. Variation Management for Software Production Lines. In: *Proceedings of the International Systems and Software Product Line Conference (SPLC)*, p. 37-48, 2002.
- (LEE; SESHIA, 2016) LEE, E. A.; SESHIA, S. A. Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach. 2. ed. MIT Press, 2016.
- (LEE *et al.*, 2015) LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, v. 3, p. 18-23, 2015.
- (LEE *et al.*, 2002) LEE, K.; KANG, K. C.; LEE, J. Concepts and Guidelines of Feature Modeling for Product Line Software Engineering. In: *Proceedings of the International Conference on Software Reuse: Methods, Techniques, and Tools (ICSR)*, p. 62-77, 2002.
- (LETTNER *et al.*, 2015) LETTNER, D.; EDER, K.; GRÜNBACHER, P.; PRÄHOFER, H. Feature Modeling of Two Large-Scale Industrial Software Systems: Experiences and Lessons Learned. In: *Proceedings of ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS)*, p. 386-395, 2015.
- (LI *et al.*, 2020) LI, L.; ZHENG, Y.; YANG, M.; LENG, J.; CHENG, Z.; XIE, Y.; JIANG, P.; MA, Y. A survey of feature modeling methods: Historical evolution and new development. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 61, p. 1-16, 2020.

(LI *et al.*, 2016) LI, M.; GUAN, L.; DICKERSON, C.; GRIGG, A. Model-Based Systems Product Line Engineering with Physical Design Variability for Aircraft Systems. In: *Proceedings of the System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, p. 1-6, 2016.

(LIAO *et al.*, 2017) LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. DE F. R.; RAMOS, L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

(LIKERT, 1932) LIKERT, R. A. Technique for the Measurement of Attitudes. *Arch. Psychol.*, v. 22, p. 1-55, 1932.

(LINDEN *et al.*, 2007) LINDEN, F. V. D.; SCHMID, K.; ROMMES, E. *Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering*. Springer, 2007.

(LINDOHF *et al.*, 2021) LINDOHF, R.; KRÜGER, J.; HERZOG, E.; BERGER, T. Software product-line evaluation in the large. *Empirical Software Engineering*, v. 26, n. 30, p. 1-41, 2021.

(LU *et al.*, 2016) LU, H.; YUE, T.; ALI, S.; ZHANG, L. Model-based incremental conformance checking to enable interactive product configuration. *Information and Software Technology*, v. 72, p. 68-89, 2016.

(MÄKITALO *et al.*, 2020) MÄKITALO, N.; TAIVALSAARI, A.; KIVILUOTO, A.; MIKKONEN, T.; CAPILLA, R. On opportunistic software reuse. *Computing*, v. 102, p. 2385-2408, 2020.

(MALLET *et al.*, 2017) MALLET, F.; VILLAR, E.; HERRERA, F. MARTE for CPS and CPSoS: Present and Future, Methodology and Tools. In: *Cyber-Physical System Design from an Architecture Analysis Viewpoint*. Springer, p. 81-108, 2017.

(MARANGUNIĆ; GRANIĆ, 2015) MARANGUNIĆ, N.; GRANIĆ, A. Technology acceptance model: a literature review from 1986 to 2013. *Universal Access in the Information Society*, p. 81-95, 2015.

(MARQUES *et al.*, 2019) MARQUES, M.; SIMMONDS, J.; ROSSEL, P. O.; BASTARRICA, M. C. Software product line evolution: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, v. 105, p. 190-208, 2019.

(MEINICKE *et al.*, 2017) MEINICKE, J. *Mastering Software Variability with FeatureIDE*. Springer, 2017.

(MEIXNER *et al.*, 2019) MEIXNER, K.; RABISER, R.; BIFFL, S. Towards Modeling Variability of Products, Processes and Resources in Cyber-Physical Production Systems Engineering. In: *Proceedings of the International Systems and Software Product Line Conference - Volume B (SPLC)*, p. 1-8, 2019.

- (MEIXNER, 2020) MEIXNER, K. Integrating Variability Modeling of Products, Processes, and Resources in Cyber-Physical Production Systems Engineering. In: *Proceedings of the 24th ACM International Systems and Software Product Line Conference - Volume B*, p. 96-103, 2020.
- (MEIXNER *et al.*, 2020) MEIXNER, K.; RABISER, R.; BIFFL, S. Feature identification for engineering model variants in cyber-physical production systems engineering. In: *Proceedings of the International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems (VaMoS)*, p. 1-5, 2020.
- (MEIXNER *et al.*, 2022) MEIXNER, K.; FEICHTINGER, K.; RABISER, R.; BIFFL, S. Efficient Production Process Variability Exploration. In: *Proceedings of the 16th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems (VaMoS)*, p. 1-9, 2022.
- (MENDLING *et al.*, 2010) MENDLING, J.; REIJERS, H. A.; VAN DER AALSTB, W.M.P. Seven Process Modeling Guidelines (7PMG). *Journal of Information and Software Technology*, v. 52, n. 2, p. 127-136, 2010.
- (MENOLLI, 2012) MENOLLI, A. Ambiente Colaborativo Social Semântico Voltado à Aprendizagem Organizacional para Empresas de Desenvolvimento de Software. Tese de Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, p. 185, 2012.
- (METZGER; POHL, 2014) METZGER, A.; POHL, K. Software Product Line Engineering and Variability Management: Achievements and Challenges. In: *Proceedings of the on Future of Software Engineering (FOSE)*, p. 70-84, 2014.
- (MICLEA; SANISLAV, 2011) MICLEA, L.; SANISLAV, T. About dependability in cyber-physical systems. In: *Proceedings of the East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, p. 17-21, 2011.
- (MONOSTORI, 2014) MONOSTORI, L. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, v. 17, p. 9-13, 2014.
- (MONOSTORI *et al.*, 2016) MONOSTORI, L.; KÁDÁR, B.; BAUERNHANSL, T.; KONDOH, S.; KUMARA, S.; REINHART, G.; SAUER, O.; SCHUH, G.; SIHN, W.; UEDA, K. Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*, v. 65, n. 2, p. 621-641, 2016.
- (MOSTERMAN; ZANDER, 2016) MOSTERMAN, P. J.; ZANDER, J. Cyber-physical systems challenges: a needs analysis for collaborating embedded software systems. *Software & Systems Modeling*, v. 15, n. 1, p. 5-16, 2016.
- (MOTTA *et al.*, 2020) MOTTA, R. C.; OLIVEIRA, K. M.; TRAVASSOS, G. H. Towards a Roadmap for the Internet of Things Software Systems Engineering. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Management of Digital EcoSystems (MEDES)*. ACM, p. 111-114, 2020.

(MUNOZ *et al.*, 2018) MUNOZ, D.-J.; MONTENEGRO, J. A.; PINTO, M.; FUENTES, L. Energy-aware environments for the development of green applications for cyber-physical systems. *Future Generation Computer Systems*, v. 91, p. 536-554, 2018.

(MURGUZUR *et al.*, 2013) MURGUZUR, A.; TRUONG, H.-L.; DUSTDAR, S. Multi-perspective Process Variability: A Case for Smart Green Buildings. In: *Proceedings of the IEEE 6th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA)*, p. 25-29, 2013.

(NAKAJIMA *et al.*, 2017) NAKAJIMA, S.; TALPIN, J.-P.; TOYOSHIMA, M.; YU, H. Cyber-Physical System Design from an Architecture Analysis Viewpoint. Springer, 2017.

(NEŠIĆ *et al.*, 2019) NEŠIĆ, D.; KRÜGER, J.; STĂNCIULESCU, Ș.; BERGER, T. Principles of feature modeling. In: *Proceedings of the ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering (ESEC/FSE)*, p. 62-73, 2019.

(NEŠIĆ; NYBERG, 2016) NEŠIĆ, D.; NYBERG, M. Multi-View Modeling and Automated Analysis of Product Line Variability in Systems Engineering. In: *Proceedings of the International Systems and Software Product Line Conference (SPLC)*, p. 287-296, 2016.

(NIE *et al.*, 2013) NIE, K.; YUE, T.; ALI, S.; ZHANG, L.; FAN, Z. Constraints: The Core of Supporting Automated Product Configuration of Cyber-Physical Systems. In: *Proceedings of the International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS)*, p. 370-387, 2013.

(NIELSEN, 2021) NIELSEN, P. D. Systems Engineering and Software Engineering: Collaborating for the Smart Systems of the Future. Software Engineering Institute (SEI) Blog, 2021. Disponível em: <https://insights.sei.cmu.edu/blog/systems-engineering-and-software-engineering-collaborating-for-the-smart-systems-of-the-future/>

(NISPEN, 2018) NISPEN, N. V. Product Line Engineering to exploit technology in Arable Farming. Wageningen University & Research, p. 93, 2018.

(NORTHROP; CLEMENTS, 2012) NORTHROP, L. M.; CLEMENTS, P. C. A Framework for Software Product Line Practice, Version 5.0. Software Engineering Institute (SEI), p. 258, 2012.

(NSF, 2012) NSF. Cyber-Physical Systems (CPS): NSF-11516. National Science Foundation (NSF), p. 13, 2012.

(NSF, 2018) NSF. Cyber-Physical Systems (CPS): NSF-18538. National Science Foundation (NSF), p. 1-25, 2018.

(OZTEMEL; GURSEV, 2020) OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

(OMG, 2014). Object Management Group. Business Process Model and Notation (BPMN) Specification Version 2.0.2, 2014. Disponível em: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/PDF>

(PATTON, 2002) PATTON, M. Q. Qualitative research & evaluation methods. 3ª. ed. SAGE Publications, 2002.

(PEFFERS *et al.*, 2007) PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER M. A.; CHATTERJEE S. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

(PEREIRA *et al.*, 2016) PEREIRA, J. A.; KRIETER, S.; MEINICKE, J.; SCHRÖTER, R.; SAAKE, G.; LEICH, T. FeatureIDE: Scalable Product Configuration of Variable Systems. In: *Proceedings of the International Conference on Software Reuse: Bridging with Social-Awareness*, p. 397-401, 2016.

(PETERSEN *et al.*, 2015) PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, v. 64, p. 1-18, 2015.

(POHL *et al.*, 2005) POHL, K.; BÖCKLE, G.; LINDEN, F. V. D. *Software Product Line Engineering: Foundations, Principles, and Techniques*. Springer, 2005.

(POHL; METZGER, 2018) POHL, K.; METZGER, A. *Software Product Lines. The Essence of Software Engineering*. Springer, Cap. 11, p. 185-201, 2018.

(RAATIKAINEN, 2019) RAATIKAINEN, M.; TIIHONEN, J.; MÄNNISTÖ, T. Software product lines and variability modeling: A tertiary study. *Journal of Systems and Software (JSS)*, v. 149, p. 485-510, 2019.

(RABISER *et al.*, 2021) RABISER, R.; VOGEL-HEUSER, B.; WIMMER, M.; ZOITL, A. Workshop on Software Engineering in Cyber-Physical Production Systems (SECPPS). In: KOZIOLEK, A.; SCHAEFER, I.; SEIDL, C. *Software Engineering 2021 (SE 21)*, Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., p. 133-134, 2021.

(RABISER *et al.*, 2022) RABISER, R.; VOGEL-HEUSER, B.; WIMMER, M.; WORTMANN, A.; ZOITL, A. Workshop on Software Engineering in Cyber-Physical Production Systems (SECPPS). In: GRUNSKÉ, L.; SIEGMUND, J.; VOGELSSANG, A. *Software Engineering 2022 (SE 22)*, Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., p. 105-106, 2022.

(RABISER; ZOITL, 2021) RABISER, R.; ZOITL, A. Towards Mastering Variability in Software-Intensive Cyber-Physical Production Systems. *Procedia Computer Science*, v. 180, p. 50-59, 2021.

(RAJKUMAR, 2012) RAJKUMAR, R. A Cyber-Physical Future. *Proceedings of the IEEE*, v. 100, n. Special Centennial Issue, p. 1309-1312, 2012.

(RAJKUMAR *et al.*, 2017) RAJKUMAR, R.; NIZ, D. D.; KLEIN, M. H. *Cyber-Physical Systems. The SEI Series in Software Engineering*, 2017.

- (RAWAT *et al.*, 2015) RAWAT, D. B.; RODRIGUES, J. J.; STOJMENOVIC, I. Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice. CRC Press, 2015.
- (REIJERS *et al.*, 2010) REIJERS H. A.; MENDLING J.; RECKER J. Business Process Quality Management. In: *Handbook on Business Process Management, International Handbooks on Information Systems*. Springer, 2010.
- (ROMERO *et al.*, 2015) ROMERO, D.; QUINTON, C.; DUCHIEN, L.; SEINTURIER, L.; VALDEZ, C. SmartyCo: Managing Cyber-Physical Systems for Smart Environments. In: *Proceedings of the European Conference Software Architecture (ECSA)*, p. 294-302, 2015.
- (ROSA *et al.*, 2018) ROSA, M. L.; AALST, W.M.P. VAN DER; DUMAS, M.; MILANI, F.P. Business Process Variability Modeling: A Survey. *ACM Computing Surveys*, v. 50, n. 1, p. 1-45, 2018.
- (SAFDAR *et al.*, 2020) SAFDAR, S. A.; LU, H.; YUE, T.; ALI, S.; NIE, K. A framework for automated multi-stage and multi-step product configuration of cyber-physical systems. *Software and Systems Modeling*, p. 1-55, 2020.
- (SAFDAR *et al.*, 2016) SAFDAR, S. A.; YUE, T.; ALI, S.; LU, H. Evaluating Variability Modeling Techniques for Supporting Cyber-Physical System Product Line Engineering. In: *Proceedings of the International Conference on System Analysis and Modeling (SAM)*, p. 1-19, 2016.
- (SALDAÑA, 2013) SALDAÑA, J. The Coding Manual for Qualitative Researchers. 2<sup>a</sup>. ed. SAGE Publications, 2013.
- (SANTOS, 1999) SANTOS, A. R. Metodologia Científica - a construção do conhecimento. 2<sup>a</sup>. ed. DP&A, 1999.
- (SCHATZ *et al.*, 2015) SCHATZ, B.; TÖRNGREN, M.; BENSALÉM, S.; CENGARLE, M.; PFEIFER, H.; MCDERMID, J.; PASSERONE, R.; SANGIOVANNI-VINCENTELLI, A. Cyber-Physical European Roadmap and Strategy: Research Agenda and Recommendations for Action. *Cyber-Physical European Roadmap & Strategy (CyPhERS)*, p. 48, 2015.
- (SELMANI *et al.*, 2019) SELMANI, A.; OUBEHAR, H.; OUTANOUTE, M.; ED-DAHAK, A.; GUERBAOUI, M.; LACHHAB, A.; BOUCHIKHI, B. Agricultural cyber-physical system enabled for remote management of solar-powered precision irrigation. *Biosystems Engineering*, v. 177, p. 18-30, 2019.
- (SIDDESH *et al.*, 2015) SIDDESH, G. M.; DEKA, G. C.; SRINIVASA, K. G.; PATNAIK, L. M. Cyber-Physical Systems: A Computational Perspective. CRC Press, 2015.
- (SMIRNOV *et al.*, 2015) SMIRNOV, A.; SANDKUHL, K.; SHILOV, N.; TELSAYA, N. Context Variation for Service Self-contextualization in Cyber-Physical Systems. In: *Proceedings of the International Conference on Business Information Processing (BIS)*, p. 309-320, 2015.

(SMIRNOV *et al.*, 2018) SMIRNOV, A.; SANDKUHL, K.; SHILOV, N.; TELSIA, N. Service Self-Contextualization in Cyber-Physical Systems based on Context Modeling and Context Variation. In: *Proceedings of the International Conference Perspectives in Business Informatics Research (BIR)*, p. 94-105, 2018.

(SONG *et al.*, 2017) SONG, H.; RAWAT, D. B.; JESCHKE, S.; BRECHER, C. Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles and Applications. Elsevier, 2017.

(SONG *et al.*, 2018) SONG, H.; FINK, G. A.; JESCHKE, S. Security and Privacy in Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles, and Applications. Wiley, 2018.

(STANKOVIC *et al.*, 2016) STANKOVIC, J. A.; STURGES, J. W.; EISENBERG, J. A. 21st Century Cyber-Physical Systems Education. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, p. 107, 2016.

(SUN; SONG, 2017) SUN, Y.; SONG, H. Secure and Trustworthy Transportation Cyber-Physical Systems. Springer, 2017.

(SUNDERMANN *et al.*, 2021) SUNDERMANN, C.; FEICHTINGER, K.; ENGELHARDT, D.; RABISER, R.; THÜM, T. Yet another textual variability language? In: *Proceedings of the 25th ACM International Systems and Software Product Line Conference (SPLC) - Volume A*, p. 136-147, 2021.

(TEKINERDOGAN *et al.*, 2021) TEKINERDOGAN, B.; BLOUIN, D.; VANGHELUWE, H.; GOULÃO, M.; CARREIRA, P.; AMARAL, V. Multi-Paradigm Modelling Approaches for Cyber-Physical Systems. Elsevier, 2021.

(TEKINERDOGAN *et al.*, 2021a) TEKINERDOGAN, B.; MITTAL, R.; AL-ALI, R.; IACONO, M.; NAVARRO, E.; BANDYOPADHYAY, S.; VANHERPEN, K.; BARIŠIĆ, A. A feature-based ontology for cyber-physical systems. Multi-Paradigm Modelling Approaches for Cyber-Physical Systems (MPM4CPS). Elsevier, Cap. 3, p. 45-65, 2021.

(TÖRNGREN *et al.*, 2017) TÖRNGREN, M.; ASPLUND, F.; BENSALAM, S.; MCDERMID, J.; PASSERONE, R.; PFEIFER, H.; SANGIOVANNI-VINCENTELLI, A.; SCHÄTZ, B. Characterization, Analysis, and Recommendations for Exploiting the Opportunities of Cyber-Physical Systems. In: *Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles and Applications*. Elsevier, p. 3-14, 2017.

(TÖRNGREN; SELLGREN, 2018) TÖRNGREN, M.; SELLGREN, U. Complexity Challenges in Development of Cyber-Physical Systems. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 10760, p. 478-503, 2018.

(THURIMELLA; BRUEGGE, 2012) THURIMELLA, A. K.; BRUEGGE, B. Issue-based variability management. *Information and Software Technology*, v. 54, n. 9, p. 933-950, 2012.

(TRAPPEY *et al.*, 2016) TRAPPEY, A. J. C.; TRAPPEY, C. V.; GOVINDARAJAN, U. H.; SUN, J. J.; CHUANG, A. C. A Review of Technology Standards and Patent Portfolios for Enabling Cyber-Physical Systems in Advanced Manufacturing. *IEEE Access*, v. 4, p. 7356-7382, 2016.

(TZOUNIS *et al.*, 2017) TZOUNIS, A.; KATSOULAS, N.; BARTZANAS, T.; KITTAS, C. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, v. 164, p. 31-48, 2017.

(VALDERAS *et al.*, 2022) VALDERAS, P.; TORRES, V.; SERRAL, E. Modelling and executing IoT-enhanced business processes through BPMN and microservices. *Journal of Systems and Software*, v. 184, p. 111139, 2022.

(VARELA-VACA *et al.*, 2019) VARELA-VACA, Á. J.; GASCA, R. M.; CEBALLOS, R.; GÓMEZ-LÓPEZ, M. T.; TORRES, P. B. CyberSPL: A Framework for the Verification of Cybersecurity Policy Compliance of System Configurations Using Software Product Lines. *Applied Sciences*, v. 9, n. 24, p. 1-28, 2019.

(VARELA-VACA *et al.*, 2021) VARELA-VACA, Á. J.; ROSADO, D. G.; SÁNCHEZ, L. E.; GÓMEZ-LÓPEZ, M. T.; GASCA, R. M.; FERNÁNDEZ-MEDINA, E. CARMEN: A framework for the verification and diagnosis of the specification of security requirements in cyber-physical systems. *Computers in Industry*, v. 132, p. 103524, 2021.

(VENKATESH; BALA, 2008) VENKATESH, V.; BALA, H. Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, p. 273-315, 2008.

(VOGEL-HEUSER *et al.*, 2021) VOGEL-HEUSER, B.; NEUMANN E.-M.; ZOITL, A.; FERNANDEZ, A. M. G.; RABISER, R.; FADHLILLAH, H. S. An International Case Study on Control Software Development in Large-Scale Plant Manufacturing Companies of One Industrial Sector at Different Locations. In: *Proceedings of the 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, p. 1-8, 2021.

(WANG; NIKOLAI, 2018) WANG, Y.; NIKOLAI, J. Key Management in CPSs. In: *Security and Privacy in Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles, and Applications*. Wiley, p. 117-136, 2018.

(WANG; WANG, 2018) WANG, L.; WANG, X. V. *Cloud-Based Cyber-Physical Systems in Manufacturing*. Springer, 2018.

(WEISS; LAI, 1999) WEISS, D. M.; LAI, C. T. R. *Software product-line engineering: A family-based software development process*, 1999.

(WHITE *et al.*, 2010) WHITE, J.; CLARKE, S.; GROBA, C.; DOUGHERTY, B.; THOMPSON, C.; SCHMIDT, D. C. R&D challenges and solutions for mobile cyber-physical applications and supporting Internet services. *Journal of Internet Services and Applications*, v. 1, n. 1, p. 45-56, 2010.

(WOHLIN *et al.*, 2012) WOHLIN, C.; RUNESON, P.; HÖST, M.; OHLSSON, M. C.; REGNELL, B.; WESSLÉN, A. *Experimentation in Software Engineering*. Springer, 2012.

(WORTMANN *et al.*, 2020) WORTMANN, A.; BARAIS, O.; COMBEMALE, B.; WIMMER, M. Modeling languages in Industry 4.0: an extended systematic mapping study. *Software and Systems Modeling*, v. 19, n. 1, p. 67-94, 2020.

(WU *et al.*, 2011) WU, F. J.; KAO, Y. F.; TSENG, Y. C. From wireless sensor networks towards cyber physical systems. *Pervasive and Mobile Computing*, v. 7, n. 4, p. 397-413, 2011.

(WU; SUN, 2017) WU, L.; SUN, Y. Guaranteed Security and Trustworthiness in Transportation Cyber-Physical Systems. In: *Secure and Trustworthy Transportation Cyber-Physical Systems*. Springer, Cap. 1, p. 3-22, 2017.

(YUE *et al.*, 2016) YUE, T.; ALI, S.; LU, H.; NIE, K. Search-based Decision Ordering to Facilitate Product Line Engineering of Cyber-Physical System. In: *Proceedings of the International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD)*, p. 691-703, 2016.

(YUE *et al.*, 2015) YUE, T.; ALI, S.; SELIC, B. Cyber-Physical System Product Line Engineering: Comprehensive Domain Analysis and Experience Report. In: *Proceedings of the International Conference on Software Product Line (SPLC)*, p. 338-347, 2015.

(ZAVE, 2003) ZAVE, P. An experiment in feature engineering. In: *Programming Methodology - Part of the Monographs in Computer Science book series (MCS)*, p. 353-377, 2003.

## APÊNDICE A - DOCUMENTAÇÃO ProVarMod4CPS

Este apêndice A é um complemento do CAPÍTULO 5, descrevendo os elementos do processo primário e o subprocesso do ProVarMod4CPS.

A seção A.1 descreve as atividades, tarefas, papéis, artefatos e o subprocesso do ProVarMod4CPS.

A seção A.2 apresenta o artefato *checklist* e exemplos de aplicação no domínio da agricultura utilizando a LPS Arable Farming de Nispen (2018). A *checklist* será avaliada e aprimorada futuramente em novos experimentos.

### A.1 Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems (ProVarMod4CPS)

Version: 1.0 - Author: Ricardo Theis Geraldi

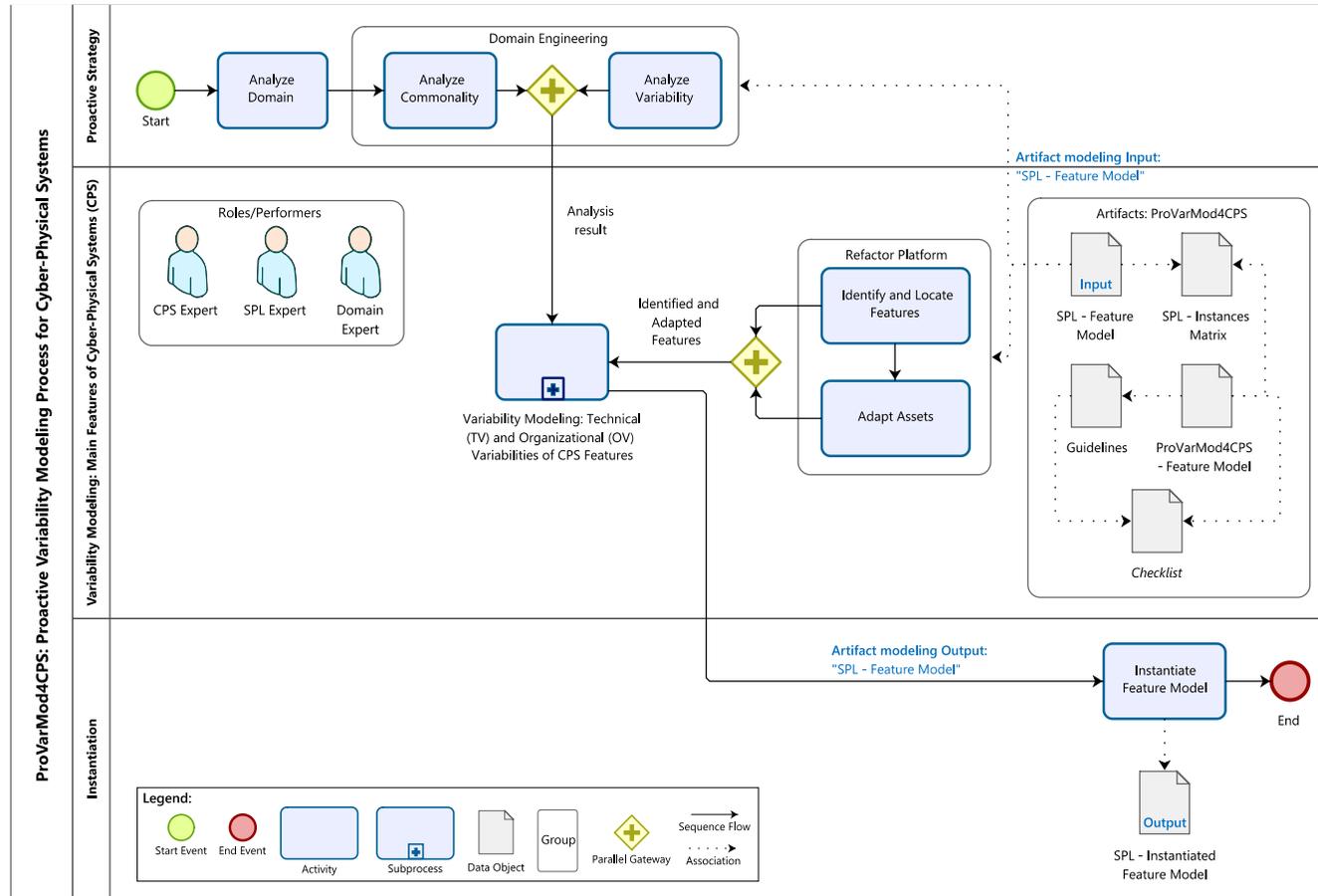


Figura 72. ProVarMod4CPS.

## ProVarMod4CPS Description

**Objective.** The Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems (ProVarMod4CPS) aims to assist in the modeling variabilities of main or priority features (depending on the domain) of Cyber-Physical Systems (CPS) supported by Software Product Line (SPL) engineering based on a proactive adoption strategy.

**Artifacts.** The ProVarMod4CPS comprises three main artifacts named Guidelines, Feature Model, and a Checklist. These artifacts involve roles that will use the ProVarMod4CPS process to assist and guide the Modeling of Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of the main features of CPS.

**Roles.** Defines which experts interact with the main artifacts. The roles are interdisciplinary and include experts in SPL, CPS, and of several fields such as agronomists, doctors, or engineers from other areas (civil or electronic).

## ProVarMod4CPS Elements (Figura 72)

### Analyze Domain

#### Description

"Analyze Domain" activity is based on the Proactive Adoption Strategy of the ISO/IEC 26553:2018 supported by the Promote-pl (*PROcess MOdel for round-Trip Engineering of Product Lines*) created by Krüger *et al.* (2020). Promote-pl is a modern update of the SPL engineering framework of Pohl *et al.* (2005). Promote-pl consists of representing three adoption strategies (proactive, extractive, and reactive) associated with the SPL evolution and management process (Krüger *et al.*, 2020). Only the Proactive Adoption Strategy is used in the context this process developed.

From this "Analyze Domain" activity during the Domain Engineering, you should use "Analyze Commonalities" and "Analyze Variabilities" activities.

The last two activities are related to the Domain defined by ISO/IEC 26560:2019 as a: "*distinct scope, within which common and variable characteristics are exhibited, common rules and binding mechanisms are observed, and over which a distribution transparency is preserved*". Thus, the *Binding* concept is a "*task to make a decision on relevant variants, which will be application assets, from domain assets using the domain variability model and from application assets using the application variability model*" (ISO/IEC 26560:2019).

In this context, the "Analyze Commonality" and "Analyze Variability" activities should be performed in parallel with the main activity of this process named "Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of Cyber-Physical Systems (CPS) Features".

#### Roles

Domain Expert, Software Product Line Expert, Cyber-Physical Systems Expert

### Analyze Commonality

#### Description

The "Analyze Commonality" involves analyzing the domain engineering assets related to a "*set of functional and non-functional characteristics that is shared by all applications belonging to the product line*" (ISO/IEC 26560:2019).

This "Analyze Commonality" activity uses as the main input the "SPL - Feature Model" artifact to allow the analysis of the functional or non-functional features common and shared to SPL of CPS.

#### Roles

Domain Expert, Software Product Line Expert, Cyber-Physical Systems Expert

## □ Identify and Locate Features

### Description

The activity receives as input the "SPL - Feature Model" artifact, which should be used as a means of identifying and locating the features. It is recommended to use the "SPL - Instances Matrix" artifact as a support to identify and locate features in the "SPL - Feature Model" artifact.

The output of this activity is sent to a gateway and to the "Adapt Assets" activity, which receives the identified and located features. The results are sent to the variability modeling in the subprocess "Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS Features" for modeling continuous improvement.

### Roles

Domain Expert, Software Product Line Expert, Cyber-Physical Systems Expert

## □ Adapt Assets

### Description

This activity receives as input identified and located features in the "SPL - Feature Model" artifact. The output of this activity is adaptations to this "SPL - Feature Model" artifact. The adaptations are sent to the gateway, which are forwarded to the subprocess "Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS Features".

### Roles

Domain Expert, Software Product Line Expert, Cyber-Physical Systems Expert

## ◆ Identified and Adapted Features

### Description

Gateway responsible for receiving two parallel/concurrent inputs associated with the "Identify and Locate Features" and "Adapt Assets" activities.

The result of these activities corresponds to the variability modeling of the features identified, located, and adapted from the input "SPL - Feature Model" artifact (supported by the "SPL - Instances Matrix" artifact).

## □ Analyze Variability

### Description

Activity responsible for analyzing assets in the domain engineering related to an "*set of functional and non-functional characteristics that may differ among members of the product line*" (ISO/IEC 26560:2019).

This "Analyze Variability" activity uses as the main input the "SPL - Feature Model" artifact to allow the analysis of the different functional or non-functional features in the SPL of CPS.

### Roles

Domain Expert, Software Product Line Expert, Cyber-Physical Systems Expert

## ◆ Analysis result

### Description

Gateway responsible for receiving two parallel/concurrent inputs associated with the "Analyze Commonality" and "Analyze Variability" activities.

The result of these activities corresponds to the initial features modeled from the input "SPL - Feature Model" artifact (supported by the "SPL - Instances Matrix" artifact).

## ▣ Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS Features (Figura 73)

### Description

This subprocess is the essence of the ProVarMod4CPS process. Nine tasks should be carried out sequentially in this subprocess in accordance with the output of the analysis result performed in the "Proactive Strategy" lane.

The tasks included in this subprocess have the main purpose of assisting and guiding the variabilities modeling of CPS features. The modeling occurs only in domain engineering following the proactive adoption strategy. In this context, domain engineering is an *"life cycle consisting of a set of processes for specifying and managing the commonality and variability of a product line"* (ISO/IEC 26550:2015). The proactive adoption strategy defined by ISO/IEC 26553:2018 consists of a *"approach of developing an innovative product line or product variations based on organizational predictions that anticipate a stated product need"*.

Based on domain engineering and proactive strategy, the common and variable aspects of features should be modeled following the definition of variability modeling of the ISO/IEC 26558-2017: *"Variability modelling means the operation for creating, maintaining and supporting variability models using variability together with variability-relevant information defined from product management, domain engineering to application engineering of ISO/IEC 26550"*.

As stated by ISO/IEC definitions regarding SPL, it is important to point out that there is no explicit definition or adaptation for the variability modeling in the ISO/IEC for the CPS context. It is believed that this ProVarMod4CPS process may contribute to formalizing the Modeling of Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of main CPS features.

The identified and adapted features in the activities of "Identify and Locate Features" and "Adapt Assets" allow refactor platform as defined in the ISO/IEC 26558-2017: *"Platform should include the proper implementation of variation points that enable variability binding. Variation points of a variability model should have links with these parts of a platform"*.

This process does not consider variation points, but instead, the relationships between parent and child features in the feature model of an SPL through the input "SPL - Feature Model" artifact. The binding of features variabilities encompasses *"variability model should devise for providing detailed information required for the right binding. Decision table or annotation can be ways to resolve this"* (ISO/IEC 26558-2017). An artifact named "SPL - Instances Matrix" was created and associated with the "SPL - Feature Model" artifact to facilitate the binding and support the modeling variabilities of features of the SPL using such matrix.

After performing the activities "Identify and Locate Features", "Adapt Assets", as well as the tasks included in this subprocess, the "SPL - Feature Model" artifact is instantiated with improvements by the final ProVarMod4CPS activity named "Instantiate Feature Model". The instantiation is the modeling output of the "SPL - Feature Model" artifact after all the activities and tasks associated with this subprocess - fundamental for ProVarMod4CPS.

### Roles

Cyber-Physical Systems Expert, Domain Expert, FeatureIDE, Software Product Line Expert

## Instantiate Feature Model

### Description

Last activity of the ProVarMod4CPS process. This activity represents the "SPL - Instantiated Feature Model" artifact according to the activities and tasks carried out as output of the subprocess "Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS Features".

### Roles

Cyber-Physical Systems Expert, Domain Expert, Software Product Line Expert, FeatureIDE

## SPL - Feature Model

### Description

"SPL - Feature Model" artifact consists of the SPL represented by an initial feature model in the "Proactive Strategy" lane. The SPL feature model is associated with the domain-specific CPS. For instance, agriculture, health, or smart cities.

The "SPL - Feature Model" artifact is the starting point and the first input artifact for performing the activities and tasks of feature modeling of this ProVarMod4CPS process.

After perform of the "Proactive Strategy" activities, the modeling of this artifact evolves with the carrying out of the subprocess tasks "Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS Features".

## SPL - Instances Matrix

### Description

"SPL - Instances Matrix" artifact contains a features matrix that should be used for features modeling of the "SPL - Feature Model" artifact. The matrix includes the main eleven ProVarMod4CPS guidelines, represented in the "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifact. These guidelines are in the first column of the matrix and are related to the main features of the "SPL - Feature Model" artifact.

It is recommended to create the matrix for crossing the main guidelines of the "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifact with the features of the "SPL - Feature Model" artifact. The "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifact is directly associated with the "Guidelines" artifact, which has the representations and descriptions of all guidelines of this ProVarMod4CPS process.

## Guidelines

### Description

Main artifact of this ProVarMod4CPS process. Each guideline was specified through the representation of a feature model in the "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifact using abstract (non-functional) and concrete (functional) features. These features were identified in the literature, modeled, and associated in the "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifact to classify and specify the main CPS features as guidelines to assist in the modeling features variabilities of CPS.

The "Guidelines" artifact is represented and associated with the activities of the "Domain Engineering" group in the "Proactive Strategy" lane, and also with the activities of the "Refactor Platform" group. This "Guidelines" artifact is supported by the "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifact, which is fundamental for the tasks of modeling features in the subprocess "Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS Features". The majority of the subprocess tasks are dependent on this artifact. It is recommended a good understanding of the operation to provide continuous improvement in the variability modeling of main CPS features.

 **ProVarMod4CPS - Feature Model****Description**

"ProVarMod4CPS - Feature Model" artifact is responsible for representing, classifying, and associating the main CPS features to support the guided modeling through the "Guidelines" artifact. This artifact contains constraints and feature attributes, specified in more detail in the "Guidelines" artifact. This artifact "ProVarMod4CPS - Feature Model" was modeled using the FeatureIDE open-source tool.

 **Checklist****Description**

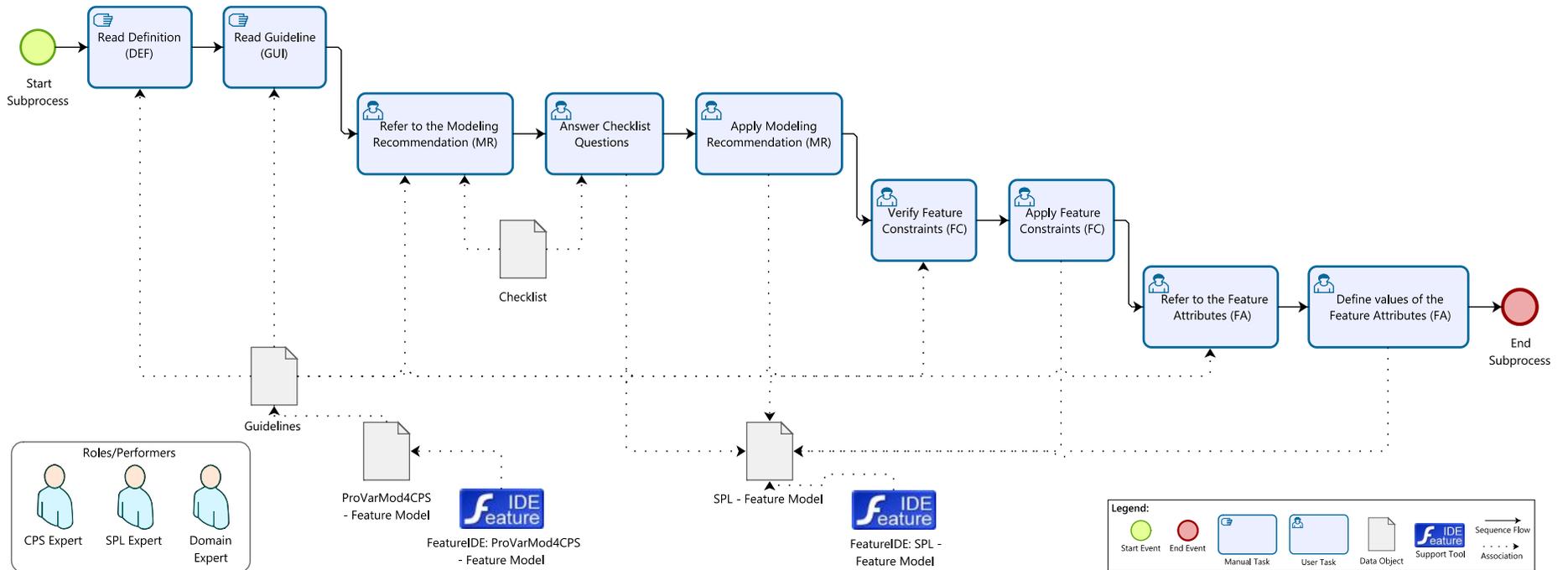
This artifact is a "Checklist" with questions based on the "Guidelines" artifact. The checklist is to guide "what" should be modeled and recommended as an improvement related to main CPS features variability.

The checklist contains open questions associated with one or more guidelines. For each guideline, some questions should be answered using the "Yes", "No" or "Describe current situation" options. The "Describe current situation" option is used when the answer to the question is not compatible with the Answer Options: "Yes" or "No". However, the last option may be used by the expert whether the modeling carried out is correct, incorrect, or very flexible. For this, there is a field named "Modeling Recommendation (MR)", in which the expert can refer and apply the recommendations, also described in detail in the "Guidelines" artifact and sub-process tasks "Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS Features". The "Checklist" artifact may be useful to think and improve in the feature variability modeling of the "SPL - Feature Model" artifact.

 **SPL - Instantiated Feature Model****Description**

Represents the "SPL - Instantiated Feature Model" artifact improved based on CPS feature modeling by performing the activities and tasks belonging to this ProVarMod4CPS process.

**Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS Features**



**Figura 73. ProVarMod4CPS Subprocess - Variability Modeling: Technical (TV) and Organizational Variabilities (OV) of CPS Features.**

## Subprocess Elements (Figura 73)

### Read Definition (DEF)

#### Description

The 1st manual task is performed through the reading Definition (DEF) of Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of the features identified and classified from the CPS literature (books and papers in the main scientific bases). The "Guidelines" artifact should be used to read and understand the DEFs.

### Read Guideline (GUI)

#### Description

In this 2nd manual task, the Guidelines (GUI) are understood as their specifications based on the DEFs. One or several GUIs have to be accessed through the use of the "Guidelines" artifact. This "Guidelines" artifact has one or more DEFs and inter-related GUIs specified as part of the Technical (TV) and Organizational (OV) Variabilities of CPS features. The GUIs should be consulted and used based on the "Guidelines" artifact to begin and guide the improvement of the "SPL - Feature Model".

### Refer to the Modeling Recommendation (MR)

#### Description

The 3rd task involves consulting the Modeling Recommendation (MR) as per the "Guidelines" artifact for each of the TVs and OVs of CPS features. MRs aims to assist in the improvement of the modeling through recommendations contained in the "Guidelines" and "Checklist" artifacts. The MRs may be accessed to help in the modeling of the "SPL - Feature Model" artifact. It is recommended to use the FeatureIDE tool as modeling support.

### Answer Checklist Questions

#### Description

In this 4th task, it is necessary to understand one or several MRs and answer the "Checklist" questions. Thus, it is observed and verify as improvements in the modeling of the "SPL - Feature Model" artifact, when the MRs are applied in the fifth and next activity of this subprocess. It is recommended to use the FeatureIDE tool as modeling support.

### Apply Modeling Recommendation (MR)

#### Description

In this 5th task, one or several MRs have to be applied/propagated in the "SPL - Feature Model" artifact based on the previous consultations performed in the "Guidelines" and "Checklist" artifacts. It is recommended to use the FeatureIDE tool as modeling support.

### Verify Feature Constraints (FC)

#### Description

In this 6th task, TVs and OVs constraints between the features were specified in the "ProVarMod4CPS - Feature Model" and "Guidelines" artifacts. The Feature Constraints (FC) of the "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifact may be verified through FeatureIDE support tool. The FCs have been modeled following the variability constraint definition of the ISO/IEC 26550:2015: "*constraint relationships between a variant and a variation point, between two variants, and between two variation points*". In the context of this process, constraints between variants are equivalent to Feature Constraints (FC), i.e. variant = feature.

### Apply Feature Constraints (FC)

#### Description

In this 7th task, one or several FCs have to be applied/propagated to the "SPL - Feature Model" artifact based on the FC consultations previously performed on the "Guidelines" and "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifacts. It is recommended to use the FeatureIDE tool as modeling support.

### Refer to the Feature Attributes (FA)

#### Description

The 8th task involves consulting attributes specified in several features of the TVs and OVs in the "Guidelines" and "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifacts. Feature Attributes (FA) are useful to describe in detail the values of one or several features.

## Define values of the Feature Attributes (FA)

### Description

In this 9th last task, the values of the FAs should be specified for propagation in the "SPL - Feature Model" artifact based on the previous FAs consultations in the "Guidelines" and "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifacts. For example, a FA may be a unit of measurement in Celsius for a sensor temperature associated with a Sensors feature. It is recommended to use the FeatureIDE tool to support the description of the FA values.

## FeatureIDE: ProVarMod4CPS - Feature Model

### Description

Support tool that may be used by experts for consultation and application of the "ProVarMod4CPS - Feature Model" artifact. The objective is to facilitate the accomplishment of the subprocess tasks, related to variability modeling of CPS features.

## FeatureIDE: SPL - Feature Model

### Description

Support tool that may be used by experts to consult of the features and application of the improvements in the "SPL - Feature Model" artifact. The objective is to facilitate the accomplishment of the subprocess tasks to improve the variability modeling of CPS features in the "SPL - Feature Model" artifact.

## Roles

### Domain Expert

#### Description

Responsible for providing the main or priority features of your domain.

### Software Product Line Expert

#### Description

Responsible for creating the feature model based on the features provided by the Domain Expert.

### Cyber-Physical Systems Expert

#### Description

Responsible for assisting the Domain Experts and Software Product Line Experts on the modeling of main or priority features in CPS.

## FeatureIDE

### Description

Responsible for assisting the Domain Experts and Software Product Line Experts on the modeling of main or priority features in CPS.

A.2  Artefato: Checklist

Tabela 29. Checklist - TV.1. Reactive Behavior.

TV.1. Reactive Behavior	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q1.1. Are there input functions ( <b>InputFunctions</b> ) in the CPS?	-	-	
Q1.2. Does SCF have output responses ( <b>OutputResponses</b> )?	-	-	
<b>MR1. Modeling Recommendation</b>			
All the concrete features with inputs functions ( <b>InputFunctions</b> ) and responses outputs ( <b>OutputResponses</b> ) should be mandatory to ensure CPS reactive behavior. During the modeling, it is recommended to explain the inputs and outputs as CPS concrete features: " <b>Inputs</b> " and " <b>Outputs</b> ".			

Tabela 30. Exemplo de Aplicação da Checklist - TV.1. Reactive Behavior.

TV.1. Reactive Behavior (Figura 74)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q1.1. Are there input functions ( <b>InputFunctions</b> ) in the CPS?	X	-	<b>Hardware, Communication, Platform, and Services</b> are optional inputs.
Q1.2. Does SCF have output responses ( <b>OutputResponses</b> )?	X	-	<b>Hardware and Communication</b> are optional. <b>Platform and Services</b> are associated with optional features.
<b>MR1. Modeling Recommendation</b>			
Tabela 29			

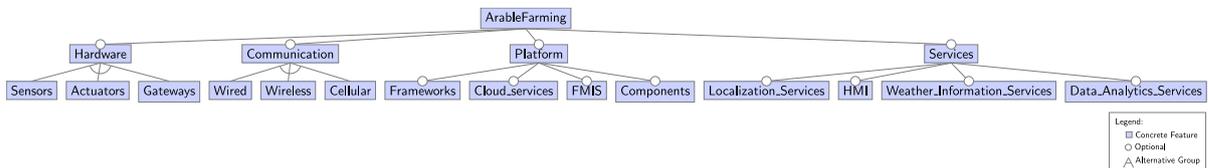


Figura 74. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.1. Reactive Behavior.

Tabela 31. Checklist - TV.2. Concurrency.

TV.2. Concurrency	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q2.1. Are there <b>Threads (Processes OR Components)</b> concurrently executed in the CPS?	-	-	
Q2.2. What concurrency models ( <b>ConcurrencyModels</b> ) or communication are used by CPS?	-	-	
<b>MR2. Modeling Recommendation</b>			
<p>It is recommended that the threads and the concurrent models be represented as parent concretes features in two OR groups. The parent concrete feature <b>Threads</b> has two child concrete features for a selection called <b>Components</b> OR <b>Processes</b>. The <b>ConcurrencyModels</b> parent concrete feature has two child concrete features for a selection called <b>SynchronousModel</b> OR <b>AsynchronousModel</b>.</p> <p>For example, the same device is configured to change state synchronously OR asynchronously, OR not to send messages over a wired network, OR over a wireless network.</p>			

Tabela 32. Exemplo de Aplicação da Checklist - TV.1. Reactive Behavior.

TV.2. Concurrency (Figura 75)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q2.1. Are there <b>Threads (Processes OR Components)</b> concurrently executed in the CPS?	X	-	<b>Threads</b> are not explicit in the feature model.
Q2.2. What concurrency models ( <b>ConcurrencyModels</b> ) or communication are used by CPS?	-	X	It is not explicit whether the communication types are performed synchronously or asynchronously from the features: <b>Wired, Wireless, and Cellular</b> .
<b>MR2. Modeling Recommendation</b>			
Tabela 31			

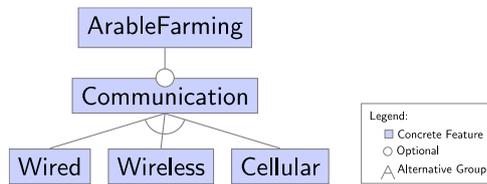


Figura 75. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.2. Concurrency.

Tabela 33. Checklist - TV.3. Real-Time Computation.

TV.3. Real-Time Computation	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q3.1. Are there features that express real-time computation?	-	-	
Q3.2. Does CPS have real-time communication features?	-	-	
<b>MR3. Modeling Recommendation</b>			
It is recommended to select the following child concrete features of the OR group to solve the optional parent abstract feature <b>RealTimeComputation</b> : <b>ProcessingTiming</b> OR <b>AvaliabilityDeadline</b> OR <b>AvaliabilityLatency</b> OR <b>Six_Keys_Management_802_1X_WLANs</b> .			
Due to the possibility of data captured in real-time, it is recommended to implement strategies with features to guarantee availability. These features are considered for that the system can process data in an adequate time and does not cause slowdowns in their ecosystem.			

Tabela 34. Exemplo de Aplicação da Checklist - TV.3. Real-Time Computation.

TV.3. Real-Time Computation (Figura 76)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q3.1. Are there features that express real-time computation?	X	-	Localization, monitoring, and weather forecast services were implemented to guarantee real-time operations. Includes optional <b>Localization_Services</b> features associated with <b>Correction</b> and <b>RTX_GNSS</b> (real-time accuracy in centimeters). It also includes the alternative <b>HMI</b> feature, in which a variant <b>Information_Displays</b> (monitor real-time information) should be selected. Includes the alternative <b>Weather_Information_Services</b> feature, which allows monitoring of weather data.
Q3.2. Does CPS have real-time communication features?	X	-	The communication is performed based on the alternative <b>Communication</b> feature that includes: <b>Wired</b> , <b>Wireless</b> , and <b>Cellular</b> .
<b>MR3. Modeling Recommendation</b>			
Tabela 33			

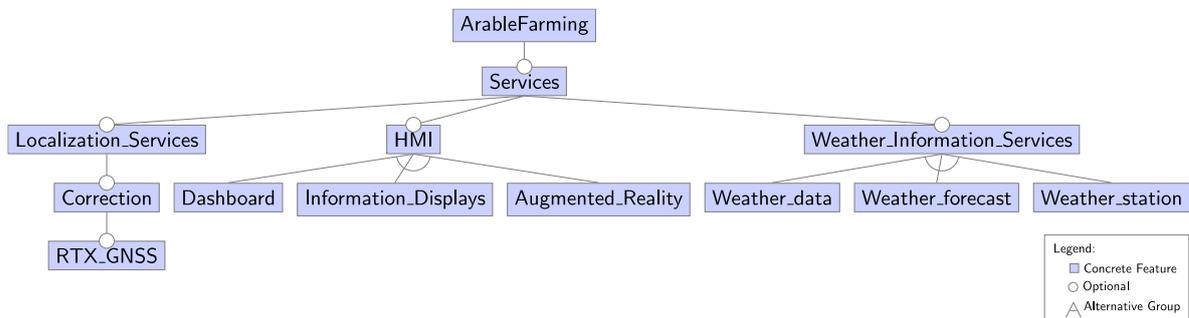


Figura 76. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.3. Real-Time Computation.

**Tabela 35. Checklist - TV.4. Security and Resiliency.**

TV.4. Security and Resiliency	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
<b>Q4.1.</b> Are there features as <b>Failures OR Attacks</b> detection mechanisms ( <b>DetectionMechanisms</b> )?	-	-	
<b>Q4.2.</b> Is there a contingencies list ( <b>ContingenciesList</b> ) specified to avoid or minimize <b>Failures OR Attacks</b> ?	-	-	
<b>Q4.3.</b> Our security experts have been consulted to model security features?	-	-	
<b>MR4. Modeling Recommendation</b>			
<p><b>SecurityResiliency</b> is associated with parent concrete feature <b>DetectionMechanisms</b> for the following child concrete features: <b>Failures OR Attacks</b>. The <b>ContingenciesList</b> concrete feature is optional and is associated with a <b>SecurityResiliency</b> feature. This list helps in the CPS protection containing the main description of the <b>Failures OR Attacks</b>.</p> <p>It is recommended that a safety plan be created by modeling features. This plan may be useful to keep the CPS resilient.</p> <p>Domain security experts should be consulted to develop a plan to implement security strategies and mitigate CPS <b>Failures OR Attacks</b>.</p> <p>It is recommended to model CPS features as mechanisms to detect the main types of CPS <b>Failures OR Attacks</b> that should occur.</p> <p>It is recommended that a contingencies list may be created to describe the <b>Failures OR Attacks</b> types that a CPS has been impacted over time. In this way, a problem history (<b>Failures OR Attacks</b>) is maintained and may be consulted when necessary.</p>			

**Tabela 36. Exemplo de Aplicação da Checklist - TV.4. Security and Resiliency.**

TV.4. Security and Resiliency	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
<b>Q4.1.</b> Are there features as <b>Failures OR Attacks</b> detection mechanisms ( <b>DetectionMechanisms</b> )?	-	X	No detection mechanism was modeled.
<b>Q4.2.</b> Is there a contingencies list ( <b>ContingenciesList</b> ) specified to avoid or minimize <b>Failures OR Attacks</b> ?	-	X	No contingencies list was specified to minimize failures or attacks.
<b>Q4.3.</b> Our security experts have been consulted to model security features?	-	X	No security expert was consulted.
<b>MR4. Modeling Recommendation</b>			
Tabela 35			

Tabela 37. *Checklist* - TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity.

TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
<b>Q5.</b> Are there <b>Performance</b> , <b>Interoperability</b> , and <b>Heterogeneity</b> features modeled as equivalent features in the CPS?	-	-	
<b>Q5.1.</b> Are there noises that affect the response time ( <b>TimeSensitiveConstrainedResource</b> ) in the CPS?	-	-	
<b>Q5.2.1.</b> Horizontal integration services ( <b>HorizontalIntegrationServices</b> ) are modeled with features in the CPS?	-	-	
<b>Q5.2.2.</b> Vertical integration systems ( <b>VerticalIntegrationHierarchiesSystems</b> ) are modeled with features in the CPS?	-	-	
<b>Q5.3.1.</b> The structural model ( <b>StructuralModel</b> ) is modeled with heterogeneous component integration features (cyber and physical)?	-	-	
<b>Q5.3.2.</b> The behavioral model ( <b>BehavioralModel</b> ) is modeled with corresponding features with state machines?	-	-	

**MR5. Modeling Recommendation**

**MR5.1. Performance:** This parent abstract feature is mandatory, associated with their child abstract features named **TimeSensitiveConstrainedResource** OR **BetterSystemPerformance**. Modeling these features is recommended to minimize the noise in response time or to avoid cyberinfrastructure failures that affect CPS performance.

**MR5.2. Interoperability:** This mandatory parent abstract feature is associated with their child abstract features named **HorizontalIntegrationServices** OR **VerticalIntegrationHierarchiesSystems**. It is recommended to modeling these features to describe the horizontal integration services OR the vertical integration systems.

**MR5.3. Heterogeneity:** This parent abstract feature was modeled as mandatory. Involves the integration of the heterogeneous structural and behavioral models through the child abstract feature named **StructuralModel** AND **BehavioralModel**. The **StructuralModel** feature has a mandatory child concrete feature named **CPSComponents**. Such feature includes the organization and representation of the cyber (embedded or IT systems) and physical (sensors and actuators) parts. It is recommended the feature modeling that involves the cyber and physical parts due to the CPS nature and essence. The feature modeling of the **CPSComponents** feature is detailed on **TV.6**.

In the behavioral model, it is recommended the state machines modeling to ensure the optimization of the CPS behavior.

Tabela 38. Exemplo de Aplicação da *Checklist* - TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity.

TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity (Figura 77)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
<b>Q5.</b> Are there <b>Performance</b> , <b>Interoperability</b> , and <b>Heterogeneity</b> features modeled as equivalent features in the CPS?	-	X	It is not clear how were modeled.
<b>Q5.1.</b> Are there noises that affect the response time ( <b>TimeSensitiveConstrainedResource</b> ) in the CPS?	-	X	It does not contain features that affect the response time.
<b>Q5.2.1.</b> Horizontal integration services ( <b>HorizontalIntegrationServices</b> ) are modeled with features in the CPS?	X	-	The <b>Services</b> feature represents some optional services for consumption in the SPL arable farming domain.
<b>Q5.2.2.</b> Vertical integration systems ( <b>VerticalIntegrationHierarchiesSystems</b> ) are modeled with features in the CPS?	-	X	Explicit features of vertical integration systems have not been modeled. However, SPL Arable Farming has the <b>Platform</b> feature, which includes <b>FMIS</b> (Farm Management Information Systems) from third parties for farm management.
<b>Q5.3.1.</b> The structural model ( <b>StructuralModel</b> ) is modeled with heterogeneous component integration features (cyber and physical)?	X	-	The structural model was represented as an optional and alternative <b>Hardware</b> feature and includes

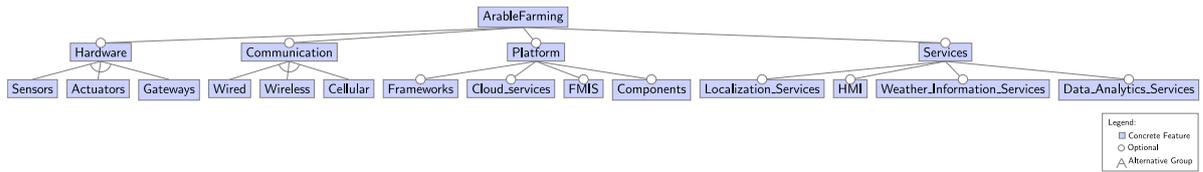
several **Sensors** and **Actuators** types represented also as alternative features.

**Q5.3.2.** The behavioral model (**BehavioralModel**) is modeled with corresponding features with state machines?

- X No behavioral model was modeled.

**MR5. Modeling Recommendation**

Tabela 37



**Figura 77. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.5. Performance X Interoperability X Heterogeneity.**

Tabela 39. Checklist - TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components.

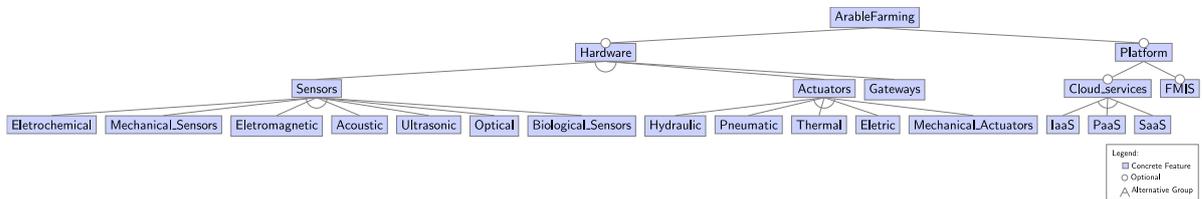
TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q6.1. As partes <b>Cyber</b> e <b>Physical</b> estão modeladas no SCF?	-	-	
Q6.2. A parte <b>Cyber</b> é invisível no SCF?	-	-	
Q6.3. Existem sistemas embarcados ( <b>EmbeddedSystems</b> ) OU sistemas de TI ( <b>ITSystems</b> ) vulneráveis para ataques?	-	-	
Q6.4. A parte <b>Physical</b> tem tipos de <b>Hardware</b> ? <b>Sensors</b> OR <b>Actuators</b> OR <b>AnalogDevices</b> ? Quais?	-	-	
Q6.5. Existem características modeladas no SCF que especificam a abrangência do sensoriamento móvel ou embarcado ( <b>EmbeddedMobileSensing</b> )?	-	-	
Q6.6. Existem características para representar um mecanismo de controle de feedback ( <b>FeedbackControlPhysicalWorld</b> ) dos <b>Sensors</b> OR <b>Actuators</b> ?	-	-	
Q6.7. Os <b>Sensors</b> interagem com a parte <b>Cyber</b> por meio de sistemas embarcados ( <b>EmbeddedSystems</b> )?	-	-	
Q6.8. O SCF possui características sensíveis a plataforma ( <b>PlatformAware</b> )? <b>Spatial</b> AND <b>Temporal</b> AND <b>Contextual</b> ?	-	-	
<b>MR6. Modeling Recommendation</b>			
Recomenda-se que os componentes do SCF sejam representados com características equivalentes e compatíveis. Por exemplo, recomenda-se definir características concretas mandatórias para as partes <b>Cyber</b> ( <b>Software</b> ) e <b>Physical</b> ( <b>Hardware</b> ). O objetivo é representar diferentes sistemas e dispositivos.			
Recomenda-se que a parte <b>Cyber</b> seja modelada para evitar ataques e esteja visível ( <b>Invisibility</b> ), quando necessário, para melhorar a segurança do SCF.			
Recomenda-se modelar a parte <b>Physical</b> com tipos diferentes de <b>Hardware</b> por meio dos atributos especificados nas características concretas filhas <b>Sensors</b> OR <b>Actuators</b> OR <b>AnalogDevices</b> . Por exemplo, recomenda-se definir características de interação dos <b>Sensors</b> com <b>EmbeddedSystems</b> da parte <b>Cyber</b> . Esses atributos estão disponíveis para consulta na <b>FA6</b> desta <b>TV.6</b> .			
Recomenda-se modelar características para a abrangência do sensoriamento ( <b>EmbeddedMobileSensing</b> ) e do controle de <i>feedback</i> (respostas) ( <b>FeedbackControlPhysicalWorld</b> ) dos <b>Sensors</b> OR <b>Actuators</b> do SCF.			
Recomenda-se modelar características que expressem o SCF com níveis sensíveis a plataforma ( <b>PlatformAware</b> ) como: <b>Spatial</b> , <b>Temporal</b> e <b>Contextual</b> . Por exemplo, espaço de armazenamento de dados na nuvem ou <i>grids</i> utilizadas no contexto do SCF.			

Tabela 40. Exemplo de Aplicação da Checklist - TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components.

TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components (Figura 78)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q6.1. As partes <b>Cyber</b> e <b>Physical</b> estão modeladas no SCF?	X	-	A LPS Arable Farming possui características modeladas como componentes nas partes <b>Cyber</b> ( <b>Platform</b> , <b>FMIS</b> e <b>SaaS</b> ) e <b>Physical</b> ( <b>Hardware</b> , <b>Sensors</b> e <b>Actuators</b> ).
Q6.2. A parte <b>Cyber</b> é invisível no SCF?	-	X	A característica <b>FMIS</b> é visível na modelagem como uma característica opcional.
Q6.3. Existem sistemas embarcados ( <b>EmbeddedSystems</b> ) OU sistemas de TI ( <b>ITSystems</b> ) vulneráveis para ataques?	X	-	A característica <b>FMIS</b> é vulnerável a ataques uma vez que características de segurança estão ausentes.
Q6.4. A parte <b>Physical</b> tem tipos de <b>Hardware</b> ? <b>Sensors</b> OR <b>Actuators</b> OR <b>AnalogDevices</b> ? Quais?	X	-	Possui vários tipos de <b>Sensors</b> e <b>Actuators</b> . Entretanto, são selecionados como alternativos.
Q6.5. Existem características modeladas no SCF que especificam a abrangência do sensoriamento móvel ou embarcado ( <b>EmbeddedMobileSensing</b> )?	-	X	A abrangência não é especificada exatamente, mas sim o tipo de

<p><b>Q6.6.</b> Existem características para representar um mecanismo de controle de feedback (<b>FeedbackControlPhysicalWorld</b>) dos <b>Sensors OR Actuators</b>?</p>	-	X	<p>sensor ou tipo de comunicação, por exemplo, <b>4G</b>. Não foram modeladas na LPS Arable Farming.</p>
<p><b>Q6.7.</b> Os <b>Sensors</b> interagem com a parte <b>Cyber</b> por meio de sistemas embarcados (<b>EmbeddedSystems</b>)?</p>	-	X	<p>São necessárias integrações com a parte <b>Cyber</b>, possivelmente, representada pela característica opcional <b>Platform</b>.</p>
<p><b>Q6.8.</b> O SCF possui características sensíveis a plataforma (<b>PlatformAware</b>)? <b>Spatial AND Temporal AND Contextual</b>?</p>	X	-	<p>A característica opcional <b>Platform</b> é útil para representar aspectos espaciais, temporais ou contextuais.</p>

**MR6. Modeling Recommendation**  
Tabela 39



**Figura 78. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.6. Cyber-Physical Systems (CPS) Components.**

Tabela 41. *Checklist* - TV.7. Verification & Validation (V&V).

TV.7. Verification & Validation (V&V)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q7.1. Are there features that represent CPS Simulations OR Formal Proofs ( <b>FormalProofs</b> ) in the CPS?	-	-	
Q7.2. Are there any equivalent features associated with <b>Tests</b> ( <b>FunctionalTest</b> OR <b>ProbabilisticTest</b> ) in the CPS?	-	-	
<b>MR7. Modeling Recommendation</b>			
It is recommended to features modeling to represent the names and types of simulations or formal proofs, respectively, executed (simulations) or specified (proofs). In this case, it is necessary to select the features <b>Simulations</b> OR <b>FormalProofs</b> from the parent concrete feature <b>DealingWithCertainty</b> . For example, simulations using the Simulink tool ( <a href="https://www.mathworks.com/products/simulink.html">https://www.mathworks.com/products/simulink.html</a> ).			
It is recommended to features modeling to represent the names and types of tests implemented. It is necessary to select the <b>FunctionalTest</b> OR <b>ProbabilisticTest</b> features associated with the concrete parent feature <b>Tests</b> . For example, unit tests are planned and executed for along time.			

Tabela 42. Exemplo de Aplicação da *Checklist* - TV.7. Verification & Validation (V&V).

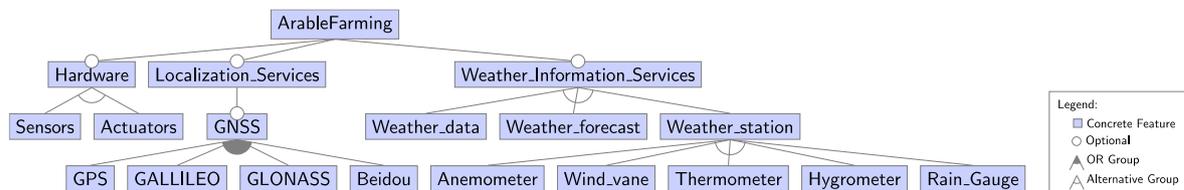
TV.7. Verification & Validation (V&V)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q7.1. Are there features that represent CPS Simulations OR Formal Proofs ( <b>FormalProofs</b> ) in the CPS?	-	X	No simulation type or formal proof was modeled as features in the CPS.
Q7.2. Are there any equivalent features associated with <b>Tests</b> ( <b>FunctionalTest</b> OR <b>ProbabilisticTest</b> ) in the CPS?	-	X	No test type has been modeled as a feature in the CPS.
<b>MR7. Modeling Recommendation</b>			
Tabela 41			

**Tabela 43. Checklist - TV.8. Dynamic Topological Structure.**

TV.8. Dynamic Topological Structure	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
<b>Q8.1.</b> Are there features that represent the non-uniform distribution of nodes ( <b>NonUniformDistributionNodes</b> ) through connectivity and subnetworks?	-	-	
<b>Q8.2.</b> Are the nodes represented as features in different locations in the CPS?	-	-	
<b>Q8.3.</b> Mobile limitations ( <b>MobileLimitation</b> ) of the nodes are represented as features in the CPS?	-	-	
<b>MR8. Modeling Recommendation</b>			
It is recommended to features modeling to represent the non-uniform distribution of the nodes (intelligent objects, sensors, or actuators) of the CPS ( <b>NonUniformDistributionNodes</b> ). Attributes as connectivity areas and subnetworks are considered nodes locate. For example, the nodes are vehicles with sensors or actuators.			
It is recommended to features modeling to represent the nodes distributed in different locations by using specific attributes of high and low granularity ( <b>Granularities</b> ). For example, a vehicle in the same city, state, and country.			
It is recommended to features modeling that presents the mobile limitations ( <b>MobileLimitation</b> ) of the CPS nodes. Attributes as distance and different signal ranges should receive values for modeling and configuration.			
The attributes are available for consultation in the <b>FA8</b> of this <b>TV.8</b> .			

**Tabela 44. Exemplo de Aplicação da Checklist - TV.8. Dynamic Topological Structure.**

TV.8. Dynamic Topological Structure (Figura 79)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
<b>Q8.1.</b> Are there features that represent the non-uniform distribution of nodes ( <b>NonUniformDistributionNodes</b> ) through connectivity and subnetworks?	X	-	<b>Sensors</b> and <b>Actuators</b> features are optional alternatives. This limits the sensors' selection and causes the non-uniform distribution of nodes. <b>Sensors</b> and <b>Actuators</b> are nodes constrained by
<b>Q8.2.</b> Are the nodes represented as features in different locations in the CPS?	X	-	<b>Localization_Services</b> features as well as weather forecast services as <b>Weather_Information_Services</b> . All these features are optional. The <b>GNSS</b> feature represents worldwide services like <b>GPS</b> . The <b>Weather_station</b> feature represents a weather station. This type of station usually has mobile limitations because of its resource number and inadequate size.
<b>Q8.3.</b> Mobile limitations ( <b>MobileLimitation</b> ) of the nodes are represented as features in the CPS?	X	-	
<b>MR8. Modeling Recommendation</b>			
Tabela 43			



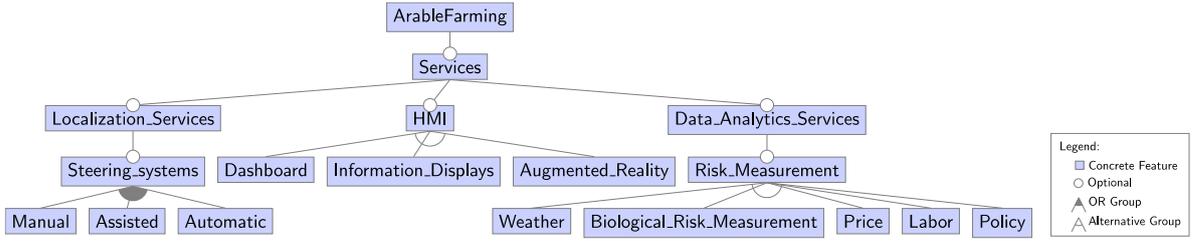
**Figura 79. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a TV.8. Dynamic Topological Structure.**

Tabela 45. Checklist - OV.1. Life Cycle X Automation Levels.

OV.1. Life Cycle X Automation Levels	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
<b>Q1.1.1.</b> Are there features modeled in terms of <b>Costs</b> associated with the business or computational rules in the CPS?	-	-	
<b>Q1.1.2.</b> Are there features that express technological changes ( <b>TechnologyChanges</b> ) in the CPS?	-	-	
<b>Q1.2.1.</b> CPS is partially or totally automated ( <b>AutomationLevels</b> )? Parcialmente automatizado = com intervenção humana Totalmente automatizado = sem intervenção humana	-	-	
<b>Q1.2.2.</b> Is there data shared among humans ( <b>HumanInteractionProcess</b> ) in the CPS?	-	-	
<b>MR1. Modeling Recommendation</b>			
<b>MR.1.1. LifeCycle:</b> This parent abstract feature is mandatory and associated with their child abstract features <b>Costs</b> AND <b>TechnologyChanges</b> . It is recommended to model features equivalent to Costs features aim to initially describe <b>Costs</b> associated with business and computing rules. In the <b>TechnologyChanges</b> feature, it is possible to specify new and old technologies that will be or have been adapted through attributes in the CPS over time. Such attributes are available in the <b>FA1</b> of this <b>OV.1</b> .			
<b>MR.1.2. AutomationLevels:</b> This parent abstract feature is mandatory and associated with the child concrete feature named <b>HumanInteractionProcess</b> . It is recommended to select this concrete feature to define through attributes (see <b>FA1</b> ) the CPS automation levels (total or partial), as well as if there will be data sharing between humans in the CPS. It is recommended to model explicitly which features are partial or totally automated. It is recommended to describe the data shared by certain humans (users - domain experts).			

Tabela 46. Exemplo de Aplicação da Checklist - OV.1. Life Cycle X Automation Levels.

OV.1. Life Cycle X Automation Levels (Figura 80)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
<b>Q1.1.1.</b> Are there features modeled in terms of <b>Costs</b> associated with the business or computational rules in the CPS?	-	X	The <b>Risk_Measurement</b> feature has features like <b>Price</b> . However, the costs are not explicit.
<b>Q1.1.2.</b> Are there features that express technological changes ( <b>TechnologyChanges</b> ) in the CPS?	-	X	The changes are not explicit in the features. Localization systems are represented through the optional and alternative <b>Localization_Services</b> feature. This feature contains partially or totally automated steering systems. The mandatory <b>Steering_systems</b> feature to solve such systems by selecting the <b>Manual OR Assisted OR Automatic</b> features.
<b>Q1.2.1.</b> CPS is partially or totally automated ( <b>AutomationLevels</b> )? Partially automated = with human intervention Totally automated = with no human intervention	X	-	The optional and alternative <b>HMI</b> feature assists in the data visualization by humans through the features <b>Dashboard, Information_Displays, and Augmented_Reality</b> .
<b>Q1.2.2.</b> Is there data shared among humans ( <b>HumanInteractionProcess</b> ) in the CPS?	-	X	They were not explicitly represented.
<b>MR1. Modeling Recommendation</b>			
Tabela 45			



**Figura 80. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a OV.1. Life Cycle X Automation Levels.**

Tabela 47. Checklist - OV.2. Cloud Computing.

OV.2. Cloud Computing	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q2.1.1. Scalability and Extensibility are represented with features in the CPS?	-	-	
Q2.1.2. Cloud computing resources (storage, computing, and communication) are modeled as features in the CPS?	-	-	
Q2.2.1. Is connectivity (HighConnectivity) modeled with equivalent features in the CPS?	-	-	
Q2.2.2. Are there decision making mechanisms (DecisionMaking) modeled with equivalent features in the CPS?	-	-	

**MR2. Modeling Recommendation**

**MR.2.1. Optimization:** This feature is optional, but it is recommended for the modeling of equivalent features with the Scalability AND Extensibility features. The main purpose of this modeling is to initially describe the cloud computing capabilities available to the CPS. For example, to describe the available CPS resources as storage, computing, and communication attributes. These attributes are available in FA2 of this OV.2.

**MR.2.2. DecentralizedSystem:** This feature is mandatory. It is recommended that the CPS should be a decentralized system and modeled with features that represent their high connectivity (HighConnectivity) with mechanisms to guide decision making (DecisionMaking). For example, enable decision making about distribute resources to guarantee connectivity.

Tabela 48. Exemplo de Aplicação da Checklist - OV.2. Cloud Computing.

OV.2. Cloud Computing (Figura 81)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q2.1.1. Scalability and Extensibility are represented with features in the CPS?	-	X	
Q2.1.2. Cloud computing resources (storage, computing, and communication) are modeled as features in the CPS?	X	-	The Communication feature represents communication, but without association with Cloud_services, which represents features related to cloud services.
Q2.2.1. Is connectivity (HighConnectivity) modeled with equivalent features in the CPS?	X	-	The connectivity is represented by the parent feature Communication, which has alternative features represented with different communication types called Wired, Wireless, and Cellular.
Q2.2.2. Are there decision making mechanisms (DecisionMaking) modeled with equivalent features in the CPS?	-	X	

**MR2. Modeling Recommendation**

Tabela 47

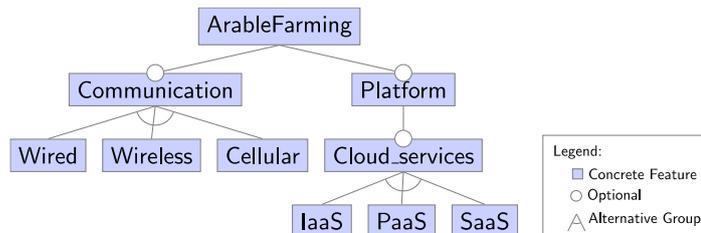


Figura 81. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a OV.2. Cloud Computing.

Tabela 49. Checklist - OV.3. Cross-Cutting Aspects.

OV.3. Cross-Cutting Aspects	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q3.1. Are there standards ( <b>Standard</b> ) represented as features in the CPS?	-	-	
Q3.2. Are there legislation ( <b>Legislation</b> ) represented as features in the CPS?	-	-	
Q3.3. Are there regulations ( <b>Regulation</b> ) represented as features in the CPS?	-	-	
Q3.4. Are there certifications ( <b>Certification</b> ) represented as features in the CPS?	-	-	
<b>MR3. Modeling Recommendation</b>			
It is recommended to model jurisdiction aspects in different CPS domains ( <b>SingleVSCrossJurisdiction</b> ). It is recommended the adoption and description of Standards ( <b>Standard</b> ) OR Legislations ( <b>Legislation</b> ) through the representation of equivalent features and attributes in the CPS. These attributes are available in the <b>FA3</b> of this <b>OV.3</b> .			
<b>Governance</b> is a way to efficiently improve CPS. It is recommended to model regulations ( <b>Regulation</b> ) OR certifications ( <b>Certification</b> ) to become the CPS more reliable.			

Tabela 50. Exemplo de Aplicação da Checklist - OV.3. Cross-Cutting Aspects.

OV.3. Cross-Cutting Aspects (Figura 82)	Answers options		
	Yes	No	Describe the current situation
Q3.1. Are there standards ( <b>Standard</b> ) represented as features in the CPS?	X	-	The <b>ISO11786</b> standard is represented as an optional feature associated with the <b>ISOBUS</b> feature.
Q3.2. Are there legislation ( <b>Legislation</b> ) represented as features in the CPS?	-	X	The legislation was not represented as features.
Q3.3. Are there regulations ( <b>Regulation</b> ) represented as features in the CPS?	-	X	The regulations were not modeled.
Q3.4. Are there certifications ( <b>Certification</b> ) represented as features in the CPS?	-	X	There are no certifications represented as features.
<b>MR3. Modeling Recommendation</b>			
Tabela 49			

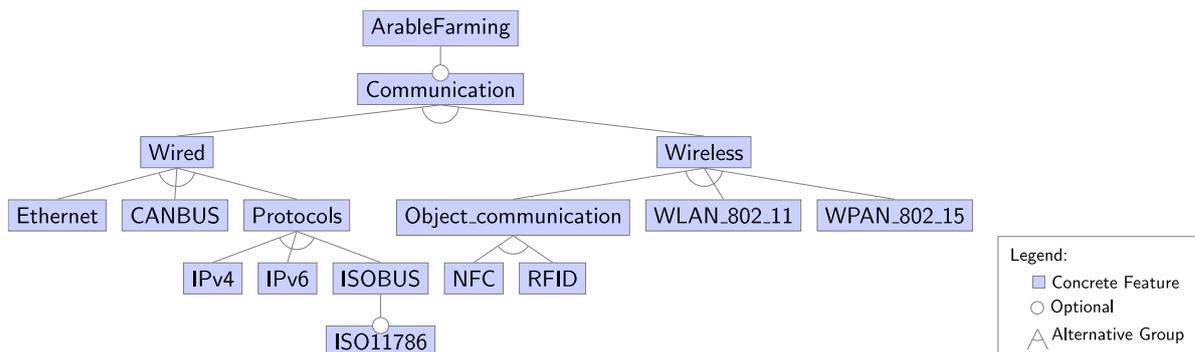


Figura 82. Modelagem da LPS Arable Farming para ilustrar a OV.3. Cross-Cutting Aspects.

## APÊNDICE B - DOCUMENTOS DA AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE

Para a condução da avaliação de viabilidade dos artefatos preliminares chamados de Diretrizes e *Feature Model*, foram criados 3 documentos para a coleta dos dados dos especialistas. Esses documentos são apresentados na sequência e estão contidos em um único formulário eletrônico criado no Google Forms, disponível em: <https://forms.gle/b4SYzYLRHwgrhozUA>

Inicialmente, uma síntese dos objetivos da avaliação foi apresentada aos especialistas (Seção B.1). O próximo documento é um TCLE (Seção B.2) em que os especialistas deveriam aceitar ou não os termos para participar da avaliação. Um segundo documento é referente a um Questionário de Caracterização de Perfil, no qual os especialistas deveriam preencher seu nível de conhecimento e experiência sobre SCF, LPS e *Feature Model* (Seção B.3). Após a análise das diretrizes contidas no formulário eletrônico criado no Google Forms, os especialistas deveriam responder ao Questionário de Avaliação (TAM) sobre as Diretrizes e o *Feature Model* (Seção B.4).

### **B.1 Avaliação de viabilidade dos artefatos preliminares: diretrizes e *feature model***

Os principais objetivos desta avaliação qualitativa são avaliar a percepção da Facilidade de Uso, Utilidade e Intenção de Uso (*Technology Acceptance Model* (TAM 3)) de um conjunto inicial de diretrizes para modelagem de variabilidades em Sistemas Ciber-Físicos (SCF) com base na engenharia de Linha de Produto de Software (LPS).

Uma classificação das características em SCF foi realizada de acordo com a literatura. Essas características foram modeladas como diretrizes e representadas em um *feature model*.

Contamos com sua contribuição para avaliar as diretrizes e o *feature model*.  
Muito Obrigado!

E-mail: \_\_\_\_\_

Nome Completo: \_\_\_\_\_

## **B.2 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)**

Caro Participante,

O Grupo de Pesquisa em Engenharia de Software (GPES) eventualmente conduz estudos experimentais para caracterizar/avaliar uma determinada tecnologia de software. Estes estudos são conduzidos por alunos do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGIa) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), sob a orientação da Profa. Dra. Andreia Malucelli e da Profa. Dra. Sheila Reinehr. Você foi previamente selecionado pelo seu perfil/conhecimento/experiência e está sendo convidado a participar desta pesquisa.

### 1) Procedimentos

O estudo será conduzido com data e hora marcada com os participantes pré-selecionados. Para participar do estudo normalmente será aplicado um formulário de caracterização de perfil, a fim de identificar seu nível de conhecimento/experiência. Em seguida, o estudo será executado de forma individual ou em grupos formados, seguindo sempre o planejamento do estudo criado pelo pesquisador responsável. Caso seja necessário, ao final do estudo será solicitado ao participante que responda um questionário de avaliação sobre a tecnologia de software que está sendo caracterizada/avaliada.

### 2) Tratamento de possíveis riscos e desconfortos

Serão tomadas todas as providências durante a coleta de dados de forma a garantir a sua privacidade e seu anonimato. Além disso, não existem riscos ou desconfortos que poderão afetar o participante durante a condução do estudo. Exemplos: fadiga, estresse, mal-estar, dentre outros.

### 3) Benefícios e Custos

Espera-se que, como resultado deste estudo, você possa adquirir novos conhecimentos, de maneira a contribuir para o aumento da qualidade das atividades com as quais você trabalhe ou possa vir a trabalhar. Este estudo também contribuirá com resultados importantes para a pesquisa de um modo geral, bem como para o grupo de pesquisa GPES. Você não terá nenhum gasto ou ônus com a sua

participação no estudo e também não receberá qualquer espécie de reembolso ou gratificação em consequência da autorização dos seus dados na pesquisa.

#### 4) Confidencialidade da Pesquisa

Toda informação coletada neste estudo é confidencial e seu nome não será identificado de modo algum, a não ser em caso de autorização explícita para este fim. Quando os dados forem coletados, seu nome será removido e não será utilizado em nenhum momento durante a análise ou apresentação dos resultados.

#### 5) Participação

Sua participação neste estudo é muito importante e voluntária, pois requer a sua aprovação para utilização dos dados coletados neste estudo. Segundo a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), o respeito devido à dignidade humana exige que toda pesquisa se processe após consentimento livre e esclarecido. Você tem o direito de não querer participar ou de sair deste estudo a qualquer momento, sem penalidades. Em caso de você decidir se retirar do estudo, favor notificar o pesquisador responsável.

Os pesquisadores responsáveis pelo estudo poderão fornecer quaisquer esclarecimentos e solucionar dúvidas.

Pesquisador do GPES: Doutorando Ricardo Theis Geraldi

Coordenadoras do GPES: Profa. Dra. Andreia Malucelli e Profa. Dra. Sheila Reinehr

#### 6) Declaração de Consentimento

Declaro que li e estou de acordo com as informações contidas neste documento e que toda linguagem técnica utilizada na descrição deste estudo de pesquisa foi explicada satisfatoriamente, recebendo respostas para todas as minhas dúvidas. Compreendo que sou livre para não autorizar a utilização dos meus dados neste estudo em qualquer momento, sem qualquer penalidade. Declaro ter mais de 18 anos e concordo de espontânea vontade em participar deste estudo.

Agradecemos antecipadamente a sua colaboração!

### **B.3 Questionário de Caracterização de Perfil**

#### **Qual é o seu nível de formação?**

- Pós-graduado (Especialização)
- Mestrando
- Mestre
- Doutorando
- Doutor

#### **Em qual setor atua?**

- Acadêmico (ensino / pesquisa)
- Industrial (empresarial / corporativo)
- Ambos

#### **Qual é o nome da Universidade / Empresa em que você trabalha?**

#### **Quanto tempo possui de experiência na área que atua?**

(ex: 15 anos e 10 meses)

#### **Qual a sua experiência com Sistemas Ciber-Físicos (SCF)?**

- Eu nunca ouvi falar sobre SCF.
- Já lí, de forma superficial, algo sobre SCF.
- Minha experiência sobre SCF é Básica. Eu conheço a definição básica de SCF.
- Minha experiência sobre SCF é Moderada. Além do conhecimento básico, eu conheço a maioria das características de SCF, nas quais elas me ajudam na modelagem deste tipo de sistema em nível conceitual.
- Minha experiência sobre SCF é Avançada. Além do conhecimento moderado, eu modelo SCF a partir de diferentes técnicas e ferramentas existentes na meio acadêmico ou na indústria.

**Qual a sua experiência com Linha de Produto de Software (LPS) e Gerenciamento de Variabilidades (GV)?**

- ( ) Eu nunca ouvi falar sobre LPS.
- ( ) Já lí, de forma superficial, algo sobre LPS.
- ( ) Minha experiência com LPS é Básica. Eu conheço os seguintes conceitos: engenharia de LPS e seus processos (engenharia de domínio e engenharia de aplicação). Porém, não tenho experiência com Gerenciamento de Variabilidades.
- ( ) Minha experiência com LPS é Moderada. Eu conheço os conceitos da opção anterior. Também conheço os conceitos de Gerenciamento de Variabilidades como pontos de variação, variantes e seus relacionamentos, incluindo conceitos de resolução de variabilidades e de tempo de resolução (tempo de projeto (*design-time*), tempo de execução (*runtime*), entre outros).
- ( ) Minha experiência com LPS é Avançada. Eu conheço os conceitos da opção anterior e alguns processos de desenvolvimento de LPS (FODA, PLP, PLUS, PuLSE, entre outros). Com relação ao Gerenciamento de Variabilidades, eu conheço os conceitos da opção anterior, incluindo: modelos de resolução; abordagens para o Gerenciamento de Variabilidades, e representação de variabilidades (utilizando Modelos de Características, UML, entre outras).

**Qual a sua experiência com Modelo de Características (*Feature Model*)?**

- ( ) Eu nunca ouvi falar sobre *Feature Model*.
- ( ) Já lí, de forma superficial, algo sobre *Feature Model*.
- ( ) Minha experiência com *Feature Model* é Básica. Eu conheço sobre *Feature Model*, mas não conheço os tipos de relacionamentos entre as características.
- ( ) Minha experiência com *Feature Model* é Moderada. Eu modelo software com *Feature Model* de acordo com a opção anterior, considerando os tipos de relacionamentos do Gerenciamento de Variabilidades, incluindo: pontos de variação, restrições entre variantes, tais como mandatório (*mandatory*), alternativo (*alternative*), OU (OR), OU Exclusivo (XOR), E (AND).
- ( ) Minha experiência com *Feature Model* é Avançada. Eu modelo software com *Feature Model* utilizando os conceitos das opções anteriores, incluindo

diferentes técnicas e ferramentas para o Gerenciamento de Variabilidades com base em *Feature Model*.

#### B.4 Questionário de Avaliação (TAM) das Diretrizes e o *Feature Model*

Por favor, responda às seguintes questões sobre à sua experiência durante a análise das Diretrizes e do Modelo de Características (*Feature Model*).

**1. De acordo com sua percepção da Facilidade de Uso das Diretrizes e do Modelo de Características (*Feature Model*), o quanto você concorda com as seguintes afirmações:**

Afirmações	Discordo		Eu não		Aceito	
	Totalmente	Parcialmente	Discordo e Eu não Aceito	Aceito Parcialmente	Aceito Totalmente	
<b>E1.</b> O artefato Diretrizes e o <i>Feature Model</i> são claros e compreensíveis.	-	-	-	-	-	-
<b>E2.</b> Interagir com esse <i>Feature Model</i> e interpretar suas Diretrizes não requer muito esforço cognitivo (mental).	-	-	-	-	-	-
<b>E3.</b> É fácil aprender como utilizar as Diretrizes e o <i>Feature Model</i> associado.	-	-	-	-	-	-
<b>E4.</b> Acho fácil utilizar essas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> para fazer o que eu quero.	-	-	-	-	-	-

**2. De acordo com sua percepção da Utilidade das Diretrizes e do Modelo de Características (*Feature Model*), o quanto você concorda com as seguintes afirmações:**

Afirmações	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Eu não Discordo e Eu não Aceito	Aceito Parcialmente	Aceito Totalmente
<b>U1.</b> A utilização dessas Diretrizes e do <i>Feature Model</i> melhorou meu desempenho para modelar variabilidades em SCF.	-	-	-	-	-
<b>U2.</b> A utilização dessas Diretrizes e do <i>Feature Model</i> melhorou minha produtividade para modelar variabilidades em SCF.	-	-	-	-	-
<b>U3.</b> A utilização dessas Diretrizes e do <i>Feature Model</i> pode aumentar minha eficácia para modelar variabilidades em SCF.	-	-	-	-	-
<b>U4.</b> Eu considero que as Diretrizes e o <i>Feature Model</i> são úteis para a modelar variabilidades em SCF.	-	-	-	-	-

**3. De acordo com sua possível Intenção de Uso Futuro das Diretrizes e do Modelo de Características (*Feature Model*), o quanto você concorda com as seguintes afirmações:**

Afirmações	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Eu não Discordo e Eu não Aceito	Aceito Parcialmente	Aceito Totalmente
<b>I1.</b> Supondo que tenho tempo suficiente para projetar um SCF, eu utilizaria essas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> .	-	-	-	-	-
<b>I2.</b> Levando em consideração que eu tenho o domínio para escolher qualquer tecnologia para projetar um SCF, eu prevejo que utilizarei essas Diretrizes e o <i>Feature Model</i> .	-	-	-	-	-

**4. Você poderia nos ajudar a descrever os aspectos positivos das Diretrizes e do Modelo de Características (*Feature Model*) para a modelagem de variabilidades em SCF?**

**5. Você poderia nos ajudar a descrever os aspectos negativos das Diretrizes e do Modelo de Características (*Feature Model*) para a modelagem de variabilidades em SCF?**

**6. Você recomendaria as Diretrizes e o Modelo de Características (*Feature Model*) para engenheiros da SCF? Por favor, justifique.**

**7. Você utilizaria as Diretrizes e o Modelo de Características (*Feature Model*) novamente? Por favor, justifique.**

**8. Você gostaria de relatar sua percepção geral (Facilidade de Uso, Utilidade e Intenção de Uso Futuro) das Diretrizes e do Modelo de Características (*Feature Model*)? Por favor, descreva abaixo.**

## APÊNDICE C - DOCUMENTOS DA AVALIAÇÃO DO PROCESSO

Para a condução da avaliação do processo ProVarMod4CPS e seus artefatos, foram criados vários documentos com instruções de participação e para a coleta dos dados dos especialistas. Esses documentos são apresentados na sequência.

Inicialmente, um convite foi enviado por e-mail aos especialistas com uma síntese dos objetivos e instruções para participação desta avaliação (Seção C.1). Um Roteiro Interativo (.pdf) foi anexado ao e-mail com passos e tarefas pontuais para realização do especialista que aceitou participar desta avaliação (Seção C.2). O próximo documento é um TCLE (Seção C.3) em que os especialistas deveriam aceitar ou não os termos para participar da avaliação. Um outro documento é referente a um TCUD, preenchido pelos pesquisadores desta avaliação sobre a responsabilidade sobre os dados coletados nesta avaliação (Seção C.4). As seções C.5 e C.6 apresentam os Questionários de Treinamento e Avaliação (formulários eletrônicos - Qualtrics), utilizados para coletar o *feedback* dos especialistas sobre o ProVarMod4CPS e seus artefatos.

### C.1 Convite de participação: E-mail

#### **Olá (Nome do Participante), tudo bem?**

Meu nome é Ricardo, sou Doutorando em Informática na PUCPR (PPGla), orientado pela Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andreia Malucelli e co-orientado pela Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sheila Reinehr.

Gostaria de pedir sua ajuda para avaliar um processo de modelagem como parte da minha pesquisa de Doutorado.

**Título do Projeto de Pesquisa:** Um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte do paradigma de linhas de produto de software.

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa: Parecer Nº 4.893.941 CEP PUCPR. As respostas individuais serão analisadas de forma completamente anônima. Asseguramos a proteção da identidade institucional. Os dados obtidos serão utilizados unicamente para fins de pesquisa.

O projeto de pesquisa pode ser consultado em: <https://plataformabrasil.saude.gov.br>.

#### **Sobre a Avaliação**

**Interação.** Sua participação será interativa via YouTube (Vídeos) e Qualtrics (Questionários). Esta avaliação é dividida em vários trechos de vídeos e tarefas de leitura, estudo, modelagem, incluindo a coleta de respostas por meio de questionários.

**Tarefas/Tempo.** Você pode iniciar e finalizar as tarefas da avaliação em dias e horários diferentes. Faça as tarefas conforme sua disponibilidade durante a semana ou mês.

**Duração.** A avaliação completa leva cerca de 2 horas e 30 minutos (em média).

**Caso aceite participar, favor confirmar o recebimento deste email. Assim, você já pode iniciar a Avaliação:**

**1º Faça o download do Roteiro (em anexo neste email). Durante toda a avaliação é necessário seguir os passos do Roteiro.**

Sua participação será interativa via YouTube (Vídeos) e Qualtrics (Questionários).

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) será apresentado para acesso nos minutos iniciais da avaliação.

**2º Faça o download dos Artefatos do processo de modelagem.**

Serão utilizados em momentos diferentes nesta avaliação:

[https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9\\_/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9_/view?usp=sharing)

Eu lhe agradeço se puder finalizar a avaliação até 01/Outubro ou quando tiver disponibilidade.

Estou disponível para solucionar dúvidas via WhatsApp: (44) 99141-3773.

Se preferir, podemos agendar uma reunião via plataforma Zoom ou Google Meet.

E-mails: [ricardogeraldi@gmail.com](mailto:ricardogeraldi@gmail.com) ou [ricardo.geraldi@ppgia.pucpr.br](mailto:ricardo.geraldi@ppgia.pucpr.br)

Não hesite em me contatar!

**Muito Obrigado!**

**Fique bem!**

--

Atenciosamente,

**Ricardo Theis Geraldi** | [ricardogeraldi.com.br](http://ricardogeraldi.com.br)

Doutorando em Informática | Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR

WhatsApp: (44) 99141-3773

## C.2 Roteiro Interativo para participação do estudo

### Roteiro : Avaliação Interativa

**Título:** Um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte do paradigma de linhas de produto de software.

Este projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa: Parecer N° 4.893.941 CEP PUCPR. As respostas individuais serão analisadas de forma completamente anônima. Asseguramos a proteção da identidade institucional. Os dados obtidos serão utilizados unicamente para fins de pesquisa. O projeto de pesquisa pode ser consultado em: <https://plataformabrasil.saude.gov.br>.

**Contato : Ricardo Theis Geraldi (Doutorando/Pesquisador Principal)**

Estou disponível para solucionar dúvidas via WhatsApp: (44) 99141-3773.

Se preferir, podemos agendar uma reunião via plataforma Zoom ou Google Meet.

E-mails: [ricardo.geraldi@ppgia.pucpr.br](mailto:ricardo.geraldi@ppgia.pucpr.br) ou [ricardogeraldi@gmail.com](mailto:ricardogeraldi@gmail.com)

#### Início da Avaliação

##### Agradeço por aceitar participar desta avaliação!

Esta avaliação está dividida em duas fases. As tarefas das fases envolvem assistir trechos de Vídeos (YouTube) e realizar tarefas em Questionários (Qualtrics).

Cada trecho de Vídeo é representado com um horário de Início e Fim. A ideia é que o participante assista aos vídeos para entender os passos e conceitos necessários desta avaliação.

Conforme o participante assistir e avançar em cada trecho de Vídeo, será solicitado realizar algumas tarefas de leitura, estudo, modelagem, bem como responder questões.

#### 1ª Fase da Avaliação

Primeiramente, favor acessar os links:

 **1º Vídeo** (YouTube): <https://www.youtube.com/watch?v=bB1kZ8XNZtg>

 **1º Questionário** (Qualtrics): [https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_esyBIMAZ8pmM1My](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_esyBIMAZ8pmM1My)

Obs: No Questionário, o participante pode escolher o idioma de sua preferência: Português Brasil ou English. O idioma pode ser alterado a qualquer momento sem impacto no envio das respostas.

Após acessar os links, favor realizar as tarefas da Tabela a seguir conforme a sua disponibilidade. As tarefas podem ser iniciadas e finalizadas em dias e horários diferentes ou durante a semana.

#	Tarefas da 1ª Fase	Início	Fim
1	 Assistir trecho do Vídeo: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e o Questionário de Caracterização de Perfil.	0:00	0:40
1.1	 Assistir trecho do Vídeo;  Responder Questões Q1.1 até Q12: TCLE e Questionário de Caracterização de Perfil.	1:13:51	1:17:08
2	 Assistir trecho do Vídeo: Objetivos e Instruções.	0:40	5:13
2.1	 Assistir trecho do Vídeo;  Ler Questões Q13 e Q14: Objetivos e Instruções.	1:17:09	1:18:58
2.2	 Download dos artefatos - Leitura e Estudo (Reading and Studying): <a href="https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9/view?usp=sharing</a> Observação: Os artefatos foram enviados para o e-mail do participante. Os links também estão no Questionário 	-	-
3	 Assistir ao trecho do Vídeo correspondente a cada artefato (a seguir);	-	-

	 Realizar a Leitura e Estudo (Reading and Studying) (baixados anteriormente em .zip - documentos em .pdf).		
3.1	 Doc. 01. Basic Concepts - CPS - SPL - Feature Model (.pdf).	5:13	20:29
3.2	 Doc. 02. ProVarMod4CPS - Documentation - Activities and Tasks (.pdf).	20:29	28:28
3.3	 Doc. 03. ProVarMod4CPS - Feature Model - TV and OV (.pdf) e Doc. 03.1 ProVarMod4CPS - Feature Model - Divided (.pdf).	28:28	33:34
3.4	 Doc. 04. Guidelines (.pdf) (ProVarMod4CPS).	33:34	58:41
4	 Assistir trecho do Vídeo sobre modelagem.	58:42	1:00:18
4.1	 Assistir trecho do Vídeo sobre a modelagem da SPL Smart Street Light: Doc. 05. SPL - Feature Model - Smart Street Light (.pdf).	1:00:19	1:07:26
4.2	 Assistir trecho do Vídeo sobre a modelagem com o ProVarMod4CPS e SPL Smart Street Light.	1:07:27	1:12:16
4.3	 Assistir trecho do Vídeo;  Realizar a modelagem por meio das Questões Q15 até Q19.	1:18:59	1:21:28
 <b>Obrigado por finalizar a 1ª Fase desta avaliação!</b>			

## 2ª Fase da Avaliação

Nesta **2ª Fase**, favor acessar os links:

 **2º Vídeo** (YouTube): <https://www.youtube.com/watch?v=KELOWRtys-l>

 **2º Questionário** (Qualtrics): [https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_9XfJWKhrTerT4Hk](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_9XfJWKhrTerT4Hk)

Obs: No Questionário, o participante pode escolher o idioma de sua preferência: Português Brasil ou English. O idioma pode ser alterado a qualquer momento sem impacto nas respostas.

Após acessar os links, favor realizar as tarefas da Tabela a seguir conforme a sua disponibilidade. As tarefas podem ser iniciadas e finalizadas em dias e horários diferentes ou durante a semana.

#	Tarefas da 2ª Fase	Início	Fim
1	 Assistir trecho do Vídeo: TCLE, Questionário de Caracterização de Perfil, Objetivo e Instruções.	0:00	2:19
1.1	 Responder a Questão Q2: Dados participante (serão anonimizados)		
1.2	 Assistir ao trecho do Vídeo;  Consultar os artefatos Leitura e Estudo (Reading and Studying) (baixados anteriormente em .zip - documentos em .pdf) <a href="https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9/view?usp=sharing</a> Obs: Enviados na 1º Fase por e-mail e estão no Questionário 	2:20	2:29
2	 Assistir trecho do Vídeo sobre a modelagem da SPL Arable Farming: Doc. 05. SPL - Feature Model - Arable Farming (.pdf) <a href="https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/11zZNeAHikgyysJBM8KMz0eNaqKaVUP9/view?usp=sharing</a> Obs: O link também está disponível no Questionário 	2:30	4:04
2.1	 Realizar a modelagem por meio das Questões Q15 até Q19.		
3	 Assistir trecho do Vídeo sobre o Questionário de Avaliação;  Responder as Questões Q22 até Q44. Estas questões estão relacionadas a avaliação do processo ProVarMod4CPS e seus artefatos.	4:04	17:28
 <b>Obrigado por finalizar a 2ª Fase desta avaliação!</b>			

Agradeço pela colaboração e me coloco à disposição para eventuais esclarecimentos.

## Fim da Avaliação

### C.3 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)
---

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar do estudo sobre **um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte do paradigma de linhas de produto de software**, que tem como objetivo **especificar um processo para auxiliar na modelagem de variabilidades de características principais de sistemas ciber-físicos com suporte da engenharia de linhas de produto de software com base na abordagem proativa**. Acreditamos que esta pesquisa seja importante porque **poderá auxiliar pesquisadores no meio acadêmico ou profissionais da indústria durante a modelagem de variabilidades de características principais de sistemas ciber-físicos utilizando a engenharia de linhas de produto de software**. Espera-se que os resultados obtidos apoiarão as áreas de reuso, modelagem e processo de *software* no contexto de sistemas ciber-físicos e linhas de produto de software perante a engenharia de software e a indústria 4.0.

#### PARTICIPAÇÃO NO ESTUDO

A sua participação no referido estudo será de **analisar modelagens com o uso de um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte da engenharia de linhas de produto de software**. Após a análise e compreensão das modelagens, um questionário on-line (Qualtrics) deverá ser respondido sobre o referido processo avaliado (Links dos Questionários On-line de treinamento e avaliação do processo, os quais foram criados e publicados utilizando o Qualtrics: (i) Treinamento - [https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_esyBIMAZ8pmM1My](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_esyBIMAZ8pmM1My); e (ii) Avaliação - [https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_9XfJWKhTerT4Hk](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_9XfJWKhTerT4Hk)). O tempo gasto durante a participação na pesquisa é, em média, duas horas. Devido ao COVID-19, a pesquisa ocorrerá no formato on-line com cada participante (virtualmente) utilizando um software de videoconferência (por exemplo: Zoom, Skype ou Google Meet).

#### RISCOS E BENEFÍCIOS

Através deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido você está sendo alertado de que, da pesquisa a se realizar, pode esperar alguns benefícios, tais como: **poderá auxiliar pesquisadores no meio acadêmico ou profissionais da indústria durante a modelagem de variabilidades de características principais de sistemas ciber-físicos utilizando a engenharia de linhas de produto de software**. Bem como, também que é possível que aconteçam os seguintes desconfortos ou riscos em sua participação, tais como: **o participante pode se sentir-se constrangido em participar, ou, sentir efeitos de fadiga, pois o estudo tem duração média de duas horas**. Neste caso, o participante poderá manifestar seu desconforto e abandonar a pesquisa a qualquer momento. Para minimizar tais riscos, nós pesquisadores tomaremos as seguintes medidas: **o pesquisador estará disponível remotamente durante toda a avaliação na plataforma on-line para acompanhar e solucionar quaisquer dúvidas dos participantes**. Dias e horários distintos serão marcados com cada participante individualmente e remotamente via e-mail e/ou por meio das plataformas on-line. O objetivo do atendimento individual e virtual será minimizar impactos do COVID-19, bem como tornar o momento de aplicação dos questionários on-line (Qualtrics) mais confortável para todos os participantes. Assim, acredita-se que riscos ou efeitos de fadiga ou *stress* dos participantes serão minimizados em tal contexto.

## **SIGILO E PRIVACIDADE**

Nós pesquisadores garantiremos a você que sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, lhe identificar, será mantido em sigilo. Nós pesquisadores nos responsabilizaremos pela guarda e confidencialidade dos dados, bem como a não exposição dos dados de pesquisa.

## **AUTONOMIA**

Nós lhe asseguramos assistência durante toda pesquisa, bem como garantiremos seu livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que você queira saber antes, durante e depois de sua participação. Também informamos que você pode se recusar a participar do estudo, ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e de, por desejar sair da pesquisa, não sofrerá qualquer prejuízo à assistência que vem recebendo.

## **RESSARCIMENTO E INDENIZAÇÃO**

No entanto, caso tenha qualquer despesa decorrente da participação nesta pesquisa, tais como transporte, alimentação entre outros, haverá ressarcimento dos valores gastos na forma seguinte: **mediante depósito em conta corrente.**

De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente de sua participação no estudo, você será devidamente indenizado, conforme determina a lei.

## **CONTATO**

Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são: **Doutorando Ricardo Theis Geraldi (Pesquisador Responsável/Principal), orientado pela Profª Drª Andreia Malucelli e, co-orientado pela Profª Drª Sheila Reinehr, na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)** e, com eles(as), você poderá manter contato pelos telefones: **(44) 9 9141-3773, (41) 9 9994-2492 e (41) 9 9997-4083.** Os pesquisadores também podem ser contactados nos e-mails: **ricardo.geraldi@ppgia.pucpr.br, malu@ppgia.pucpr.br e sheila.reinehr@pucpr.br.**

O Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) é composto por um grupo de pessoas que estão trabalhando para garantir que seus direitos como participante de pesquisa sejam respeitados. Ele tem a obrigação de avaliar se a pesquisa foi planejada e se está sendo executada de forma ética. Se você achar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você imaginou ou que está sendo prejudicado de alguma forma, você pode entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da PUCPR (CEP) pelo telefone (41) 3271-2103 entre segunda e sexta-feira das 08h00 às 17h30 ou pelo e-mail [nep@pucpr.br](mailto:nep@pucpr.br).

## **DECLARAÇÃO**

Declaro que li e entendi todas as informações presentes neste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e tive a oportunidade de discutir as informações deste termo. Todas as minhas perguntas foram respondidas e eu estou satisfeito com as respostas. Entendo que receberei uma via assinada e datada deste documento e que outra via assinada e datada será arquivada nos pelo pesquisador responsável do estudo.

Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.

<b>Dados do participante da pesquisa</b>	
Nome:	
Telefone:	
E-mail:	

Local, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do participante da pesquisa

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Pesquisador

#### C.4 Termo de Compromisso de Utilização de Dados (TCUD)

### Termo de Compromisso de Utilização de Dados (TCUD)

Nós **Ricardo Theis Geraldi**, **Andreia Malucelli** e **Sheila Reinehr**, abaixo assinado(as), pesquisadores envolvidos(as) no projeto de título, **um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte do paradigma de linhas de produto de software**, nos comprometemos a manter a confidencialidade sobre os dados coletados nos **questionários on-line respondidos pelos participantes (Links dos Questionários On-line de Treinamento e Avaliação do Processo, criados na ferramenta Qualtrics: (i) Treinamento - [https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_esyBIMAZ8pmM1My](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_esyBIMAZ8pmM1My); e (ii) Avaliação - [https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_9XfJWKhrTerT4Hk](https://pucpr.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_9XfJWKhrTerT4Hk)), bem como a privacidade de seus conteúdos, como preconizam os Documentos Internacionais e as Resoluções 466/12 e 510/16, do Conselho Nacional de Saúde.**

Informo que os dados a serem coletados dizem respeito a **um processo de modelagem de software**, ocorridos entre os meses de: Agosto/2021 até Fevereiro/2022.

Curitiba, 27, Maio de 2021.

Envolvidos(as) na manipulação e coleta dos dados:

Nome completo	CPF	Assinatura
Ricardo Theis Geraldi		
Andreia Malucelli		
Sheila Reinehr		

## C.5 Questionário Qualtrics: Treinamento da Avaliação do ProVarMod4CPS

Português Brasileiro ▾

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

#### Q1. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar do estudo sobre um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte do paradigma de linhas de produto de software, que tem como objetivo especificar um processo para auxiliar na modelagem de variabilidades de características principais de sistemas ciber-físicos com suporte da engenharia de linhas de produto de software com base na abordagem proativa. Acreditamos que esta pesquisa seja importante porque poderá auxiliar pesquisadores no meio acadêmico ou profissionais da indústria durante a modelagem de variabilidades de características principais de sistemas ciber-físicos utilizando a engenharia de linhas de produto de software. Espera-se que os resultados obtidos apoiarão as áreas de reuso, modelagem e processo de software no contexto de sistemas ciber-físicos e linhas de produto de software perante a engenharia de software e a indústria 4.0.

#### PARTICIPAÇÃO NO ESTUDO

A sua participação no referido estudo será de analisar modelagens com o uso de um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte da engenharia de linhas de produto de software. Após a análise e compreensão das modelagens, um questionário on-line (Qualtrics) deverá ser respondido sobre o referido processo avaliado. O tempo gasto durante a participação na pesquisa é, em média, duas horas. Devido ao COVID-19, a pesquisa ocorrerá no formato on-line com cada participante (virtualmente) utilizando um software de videoconferência (por exemplo: Zoom, Skype ou Google Meet).

#### RISCOS E BENEFÍCIOS

Através deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido você está sendo alertado de que, da pesquisa a se realizar, pode esperar alguns benefícios, tais como: poderá auxiliar pesquisadores no meio acadêmico ou profissionais da indústria durante a modelagem de variabilidades de características principais de sistemas ciber-físicos utilizando a engenharia de linhas de produto de software. Bem como, também que é possível que aconteçam os seguintes desconfortos ou riscos em sua participação, tais como: o participante pode se sentir-se constrangido em participar, ou, sentir efeitos de fadiga, pois o estudo tem duração média de duas horas. Neste caso, o participante poderá manifestar seu desconforto e abandonar a pesquisa a qualquer momento. Para minimizar tais riscos, nós pesquisadores tomaremos as seguintes medidas: o pesquisador estará disponível remotamente durante toda a avaliação na plataforma on-line para acompanhar e solucionar quaisquer dúvidas dos participantes. Dias e horários distintos serão marcados com cada participante individualmente e remotamente via e-mail e/ou por meio das plataformas on-line. O objetivo do atendimento individual e virtual será minimizar impactos do COVID-19, bem como tornar o momento de aplicação dos questionários on-line (Qualtrics) mais confortável para todos os participantes. Assim, acredita-se que riscos ou efeitos de fadiga ou stress dos participantes serão minimizados em tal contexto.

#### SIGILO E PRIVACIDADE

Nós pesquisadores garantiremos a você que sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, lhe identificar, será

mantido em sigilo. Nós pesquisadores nos responsabilizaremos pela guarda e confidencialidade dos dados, bem como a não exposição dos dados de pesquisa.

#### **AUTONOMIA**

Nós lhe asseguramos assistência durante toda pesquisa, bem como garantiremos seu livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que você queira saber antes, durante e depois de sua participação. Também informamos que você pode se recusar a participar do estudo, ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e de, por desejar sair da pesquisa, não sofrerá qualquer prejuízo à assistência que vem recebendo.

#### **RESSARCIMENTO E INDENIZAÇÃO**

No entanto, caso tenha qualquer despesa decorrente da participação nesta pesquisa, tais como transporte, alimentação entre outros, haverá ressarcimento dos valores gastos na forma seguinte: mediante depósito em conta corrente.

De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente de sua participação no estudo, você será devidamente indenizado, conforme determina a lei.

#### **CONTATO**

Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são: Doutorando Ricardo Theis Geraldi (Pesquisador Responsável/Principal), orientado pela Profª Drª Andreia Malucelli e, co-orientado pela Profª Drª Sheila Reinehr, na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) e, com eles(as), você poderá manter contato pelos telefones: (44) 9 9141-3773, (41) 9 9994-2492 e (41) 9 9997-4083. Os pesquisadores também podem ser contactados nos e-mails: ricardo.geraldi@ppgia.pucpr.br, malu@ppgia.pucpr.br e sheila.reinehr@pucpr.br.

O Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) é composto por um grupo de pessoas que estão trabalhando para garantir que seus direitos como participante de pesquisa sejam respeitados. Ele tem a obrigação de avaliar se a pesquisa foi planejada e se está sendo executada de forma ética. Se você achar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você imaginou ou que está sendo prejudicado de alguma forma, você pode entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da PUCPR (CEP) pelo telefone (41) 3271-2103 entre segunda e sexta-feira das 08h00 às 17h30 ou pelo e-mail [cep@pucpr.br](mailto:cep@pucpr.br)

#### **DECLARAÇÃO**

Declaro que li e entendi todas as informações presentes neste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e tive a oportunidade de discutir as informações deste termo. Todas as minhas perguntas foram respondidas e eu estou satisfeito com as respostas. Entendo que receberei uma via assinada e datada deste documento e que outra via assinada e datada será arquivada nos pelo pesquisador responsável do estudo.

Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.

Q1.1.

Caro Participante, você concorda com o TCLE e aceita participar deste estudo?

Por favor, selecione uma das opções a seguir e clique no botão "Próximo" (no fim da página)

- Sim. Eu aceito participar deste estudo.
- Não. Eu não aceito participar deste estudo.

**Dados Pessoais (serão anonimizados)****Q2. Dados Pessoais**

(Serão anonimizados conforme os termos do TCLE)

Q2.1. Nome Completo

Q2.2. Telefone/Celular

Q2.3. E-mail

**Profile Characterization Questionnaire**

Q5. Questionário de Caracterização de Perfil

Q6. Qual é o seu nível de formação?

- Pós-graduado (especialista)
- Mestre
- Doutorando
- Doutor
- Postdoc

Q7. Em qual setor você trabalha?

- Acadêmico (ensino / pesquisa)
- Indústria (negócios / corporativo)
- Ambos

Q8. Qual é o nome da sua Universidade / Empresa (onde você trabalha)?

Q9.

Quanto tempo você tem de experiência na sua área?  
(exemplo: 15 anos e 10 meses)

Q10. Qual é a sua experiência com Sistemas Ciber-Físicos (SCF)?

- Nunca ouvi falar sobre SCF.
- Já li algo superficial sobre SCF.
- Minha experiência sobre SCF é Básica. Eu conheço a definição básica de SCF.
- Minha experiência sobre SCF é Moderada. Além do conhecimento básico, eu conheço a maioria das características de SCF, nas quais me ajudam a modelar este tipo de sistema em nível conceitual.
- Minha experiência com SCF é Avançada. Além de conhecimento Moderado, eu modelo SCF a partir de diferentes técnicas e ferramentas existentes no meio acadêmico ou na indústria.

Q11. Qual é a sua experiência com Linhas de Produto de Software (LPS) e Gerenciamento de Variabilidades (GV)?

- Nunca ouvi falar sobre LPS.
- Já li algo superficial sobre LPS.
- Minha experiência com LPS é Básica. Eu conheço o framework de engenharia LPS e os seus processos (Engenharia de Domínio e Engenharia de Aplicação). Entretanto, eu não tenho experiência com Gerenciamento de Variabilidades (GV).
- Minha experiência com LPS é Moderada. Eu conheço os conceitos da opção anterior. Também conheço os conceitos de GV como pontos de variação, variantes, suas relações e dependências, incluindo conceitos de resolução de variabilidade e tempo de resolução (tempo de projeto, tempo de compilação, tempo de execução e outros).
- Minha experiência com LPS é Avançada. Eu conheço os conceitos das opções anteriores e alguns processos de desenvolvimento de LPS (FODA, PLUS, PuLSE, SMarty, e outros). Em relação à GV, eu conheço os conceitos da opção anterior, incluindo: modelos de resolução; abordagens GV e representação de variabilidades (utilizando Modelos de Características (Feature Model), UML e outros).

Q12. Qual é a sua experiência com Modelo de Característica (Feature Model)?

- Nunca ouvi falar sobre Modelo de Característica.
- Já li algo superficial sobre Modelo de Característica.
- A minha experiência com o Modelo de Característica é Básica. Eu conheço o Modelo de Característica, mas não conheço os tipos de relações e dependências entre as

características.

- Minha experiência com Modelo de Característica é Moderada. Eu faço a modelagem de software com o Modelo de Característica de acordo com a opção anterior, considerando os tipos de relacionamentos em GV, incluindo: pontos de variação, restrições entre variantes, como obrigatório (mandatory), alternativo (alternative), OU (OR), OU Exclusivo (XOR), E (AND).
- A minha experiência com o Modelo de Característica é Avançada. Eu faço a modelagem de software com Modelo de Característica utilizando os conceitos das opções anteriores, incluindo diferentes técnicas e ferramentas para Modelo de Característica e a atividade GV.

### Objective and Instructions

#### Q13. Objetivo e Instruções

#### **Avaliação do Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems (ProVarMod4CPS) em domínios de cidades inteligentes e agricultura.**

**Objetivo de Definição do Escopo.** Com base no Goal-Question Metric (GQM) (BASILI et al., 1994), o objetivo deste estudo é:

**Analisar o** processo ProVarMod4CPS, o ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model), e suas Diretrizes (Guidelines)

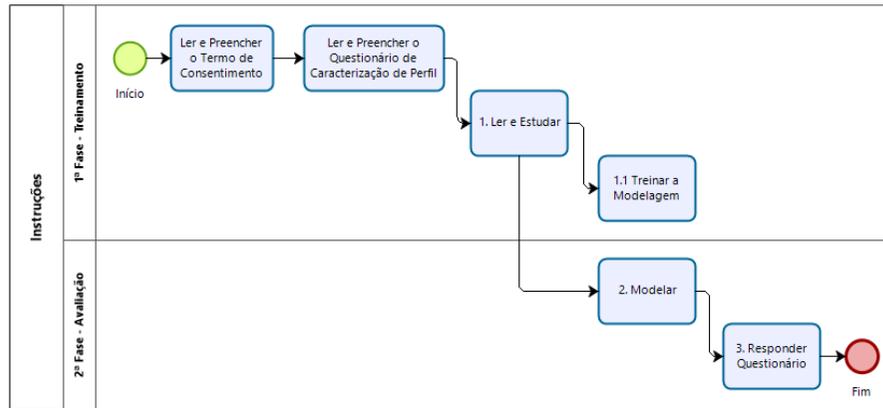
**para o propósito de** caracterizar o processo ProVarMod4CPS

**com respeito aos** domínios de CPS de cidades inteligentes e agricultura

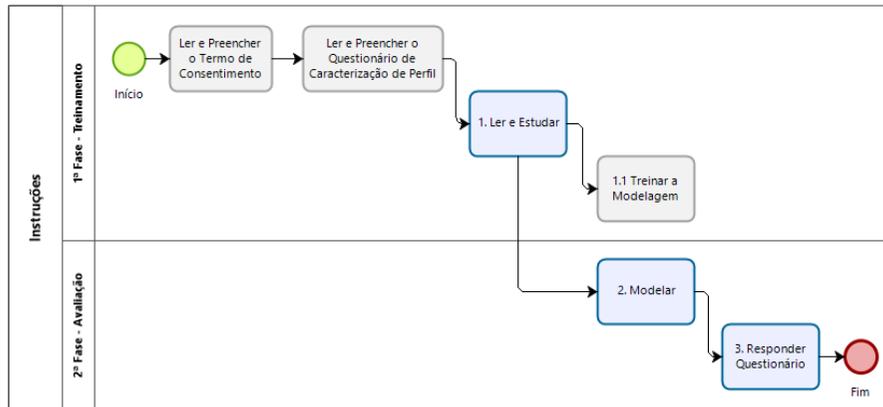
**do ponto de vista de** especialistas de LPS

**no contexto de** pesquisadores ou profissionais de universidades e na indústria.

O estudo consiste de duas fases:



Esta 2ª fase engloba as seguintes atividades em azul:



### 1. Reading and Studying

Q14. **1. Leitura e Estudo**

Esta atividade engloba o download ([links em azul](#)), leitura, e estudo dos seguintes documentos:

- [01. Conceitos básicos de Sistemas Ciber-Físicos \(SCF\), Linhas de Produto de Software \(LPS\), Modelagem de Características, e Modelagem de Variabilidades de SCF](#)

- Compreender as atividades, tarefas e artefatos do processo *Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems* (ProVarMod4CPS). Por favor, faça o download ([links em azul](#)), leitura e estudo dos artefatos nesta sequência:

**ProVarMod4CPS**

- [02. ProVarMod4CPS - Documentação - Atividades e Tarefas](#)

**Artefatos**

- [03. ProVarMod4CPS - Modelo de Característica \(Feature Model\)](#) ([03.1 versão detalhada aqui](#)) apoiado pelo artefato [04. Diretrizes \(04. Guidelines\)](#)

- [05. LPS - Modelo de Característica](#) | [LPS - Smart Street Light - Modelo de Característica](#)

- [06. LPS - Matriz de Instâncias](#) (esqueleto)

Os slides utilizados no Treinamento estão disponíveis [aqui](#).

OBS: A [07. Lista de Verificação \(07. Checklist\)](#) (artefato) não será avaliada neste estudo, mas faz parte do processo ProVarMod4CPS. Também, as **Restrições de Características (Feature Constraints)** e **Atributos de Características (Feature Attributes)** do artefato **Diretrizes (Guidelines)** não são avaliados neste estudo. Um segundo estudo está sendo planejado para avaliar tais elementos.

**2. Modeling**

Q15. **LEIA PRIMEIRO**

As questões a seguir não avaliam seus conhecimentos ou capacidades/habilidades de modelagem. Não se preocupe!

Não há respostas corretas e incorretas. Essa modelagem visa avaliar como o processo ProVarMod4CPS será utilizado na modelagem de três configurações aleatórias da LPS Smart Street Light.

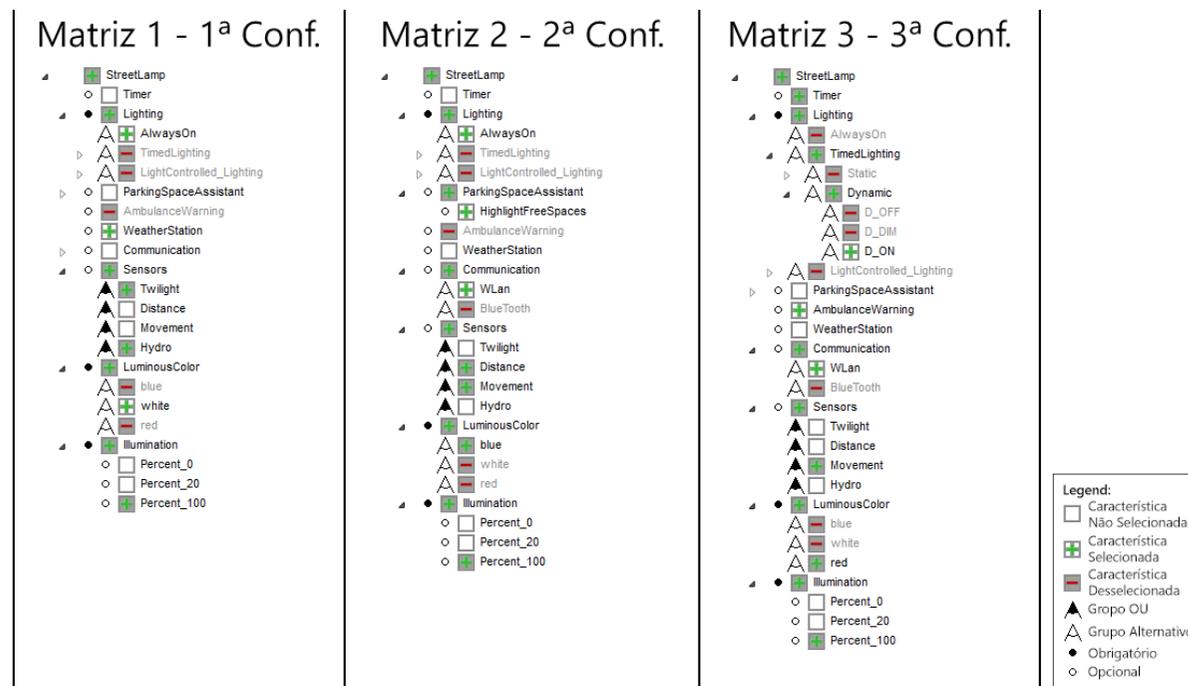
Q16. **2. Modelagem**

Esta atividade engloba a modelagem de características com o processo **ProVarMod4CPS** e **LPS Smart Street Light (Doc. 05)** utilizando os documentos baixados em **1. Leitura e Estudo**.

Analise as características que você considera equivalentes do artefato **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** consultando as **Diretrizes (Guidelines)** (olhar **RM. Recomendações de Modelagem (MR. Modeling Recommendation)**) por meio da associação de características do artefato **LPS - Modelo de Característica (SPL - Feature Model)** (Smart Street Light). Para esta ação, preencha três matrizes de configuração:

- utilizando o **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model) (Doc. 03 e Doc. 04 - Diretrizes)**; e
- utilizando o **LPS - Smart Street Light - Modelo de Característica (SPL - Smart Street Light - Feature Model) (Doc. 05)**.

**OBS:** Em primeiro lugar, você pode ver as características selecionadas e configuradas relacionadas com cada matriz nas figuras a seguir.



**NA PRÁTICA:** As configurações foram derivadas na FeatureIDE v3.7 (Eclipse IDE) ([Windows 64bit](#), [MacOS 64bit](#), ou [Linux 64bit](#)). Site: <https://featureide.github.io>

Estas configurações podem ser visualizadas por meio do [projeto desenvolvido para esta avaliação](#) utilizando a função "Importar" na FeatureIDE v3.7 (Eclipse IDE).

**A FeatureIDE pode ser útil para interagir com o LPS - Modelo de Característica - Smart Street Light (SPL - Feature Model - Smart Street Light).**

Q17.

**Matriz 1** - 1ª configuração da LPS Smart Street Light.

Por favor, selecione as características que você considera equivalentes entre **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** e **LPS - Smart Street Light - Modelo de Característica (SPL - Smart Street Light - Feature Model)**

	Lighting	WeatherStation	Sensors		LuminousColor	Illumination
	AlwaysOn	WeatherStation	Twilight	Hydro	white	Percent_100
Comportamento Reativo (ReactiveBehavior)	<input type="checkbox"/>					
Concorrência (Concurrency)	<input type="checkbox"/>					
Computação em Tempo Real (RealTimeComputation)	<input type="checkbox"/>					
Segurança e Resiliência (SecurityResiliency)	<input type="checkbox"/>					
Desempenho X Interoperabilidade X Heterogeneidade (PerformanceXInteroperabilityXHeterogeneity)	<input type="checkbox"/>					
Componentes SCF (CPSComponents)	<input type="checkbox"/>					
Verificação e Validação (VerificationAndValidation)	<input type="checkbox"/>					
Estrutura Topológica Dinâmica (DynamicTopologicalStructure)	<input type="checkbox"/>					
Ciclo de Vida X Níveis de Automação (LifeCycleXAutomationLevels)	<input type="checkbox"/>					
Computação em Nuvem (CloudComputing)	<input type="checkbox"/>					
Aspectos Transversais (CrossCuttingAspects)	<input type="checkbox"/>					

Q18.

**Matriz 2** - 2ª configuração da LPS Smart Street Light.

Por favor, selecione as características que você considera equivalentes entre **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** e **LPS - Smart Street Light - Modelo de Característica (SPL - Smart Street Light - Feature Model)**

Lighting	ParkingSpaceAssistant	Communication	Sensors	LuminousColor	Illumination
----------	-----------------------	---------------	---------	---------------	--------------



	Timer	Lighting			AmbulanceWarning	Communication	Sensors	LuminousColor	Illumination
	Timer	TimedLighting	Dynamic	D_ON	AmbulanceWarning	WLan	Movement	red	Percent_100
Segurança e Resiliência (SecurityResiliency)	<input type="checkbox"/>								
Desempenho X Interoperabilidade X Heterogeneidade (PerformanceXInteroperabilityXHeterogeneity)	<input type="checkbox"/>								
Componentes SCF (CPSComponents)	<input type="checkbox"/>								
Verificação e Validação (VerificationAndValidation)	<input type="checkbox"/>								
Estrutura Topológica Dinâmica (DynamicTopologicalStructure)	<input type="checkbox"/>								
Ciclo de Vida X Níveis de Automação (LifeCycleXAutomationLevels)	<input type="checkbox"/>								
Computação em Nuvem (CloudComputing)	<input type="checkbox"/>								
Aspectos Transversais (CrossCuttingAspects)	<input type="checkbox"/>								

## C.6 Questionário Qualtrics: Avaliação do ProVarMod4CPS

Português Brasileiro ▾

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

#### Q1. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar do estudo sobre um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte do paradigma de linhas de produto de software, que tem como objetivo especificar um processo para auxiliar na modelagem de variabilidades de características principais de sistemas ciber-físicos com suporte da engenharia de linhas de produto de software com base na abordagem proativa. Acreditamos que esta pesquisa seja importante porque poderá auxiliar pesquisadores no meio acadêmico ou profissionais da indústria durante a modelagem de variabilidades de características principais de sistemas ciber-físicos utilizando a engenharia de linhas de produto de software. Espera-se que os resultados obtidos apoiarão as áreas de reuso, modelagem e processo de software no contexto de sistemas ciber-físicos e linhas de produto de software perante a engenharia de software e a indústria 4.0.

#### PARTICIPAÇÃO NO ESTUDO

A sua participação no referido estudo será de analisar modelagens com o uso de um processo de modelagem de software para sistemas ciber-físicos com suporte da engenharia de linhas de produto de software. Após a análise e compreensão das modelagens, um questionário on-line (Qualtrics) deverá ser respondido sobre o referido processo avaliado. O tempo gasto durante a participação na pesquisa é, em média, duas horas. Devido ao COVID-19, a pesquisa ocorrerá no formato on-line com cada participante (virtualmente) utilizando um software de videoconferência (por exemplo: Zoom, Skype ou Google Meet).

#### RISCOS E BENEFÍCIOS

Através deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido você está sendo alertado de que, da pesquisa a se realizar, pode esperar alguns benefícios, tais como: poderá auxiliar pesquisadores no meio acadêmico ou profissionais da indústria durante a modelagem de variabilidades de características principais de sistemas ciber-físicos utilizando a engenharia de linhas de produto de software. Bem como, também que é possível que aconteçam os seguintes desconfortos ou riscos em sua participação, tais como: o participante pode se sentir-se constrangido em participar, ou, sentir efeitos de fadiga, pois o estudo tem duração média de duas horas. Neste caso, o participante poderá manifestar seu desconforto e abandonar a pesquisa a qualquer momento. Para minimizar tais riscos, nós pesquisadores tomaremos as seguintes medidas: o pesquisador estará disponível remotamente durante toda a avaliação na plataforma on-line para acompanhar e solucionar quaisquer dúvidas dos participantes. Dias e horários distintos serão marcados com cada participante individualmente e remotamente via e-mail e/ou por meio das plataformas on-line. O objetivo do atendimento individual e virtual será minimizar impactos do COVID-19, bem como tornar o momento de aplicação dos questionários on-line (Qualtrics) mais confortável para todos os participantes. Assim, acredita-se que riscos ou efeitos de fadiga ou stress dos participantes serão minimizados em tal contexto.

#### SIGILO E PRIVACIDADE

Nós pesquisadores garantiremos a você que sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, lhe identificar, será mantido em sigilo. Nós pesquisadores nos responsabilizaremos pela guarda e confidencialidade dos dados, bem como a não exposição dos dados de pesquisa.

#### AUTONOMIA

Nós lhe asseguramos assistência durante toda pesquisa, bem como garantiremos seu livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que você queira saber antes, durante e depois de sua participação. Também informamos que você pode se recusar a participar do estudo, ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e de, por desejar sair da pesquisa, não sofrerá qualquer prejuízo à assistência que vem recebendo.

#### RESSARCIMENTO E INDENIZAÇÃO

No entanto, caso tenha qualquer despesa decorrente da participação nesta pesquisa, tais como transporte, alimentação entre outros, haverá ressarcimento dos valores gastos na forma seguinte: mediante depósito em conta corrente.

De igual maneira, caso ocorra algum dano decorrente de sua participação no estudo, você será devidamente indenizado, conforme determina a lei.

**CONTATO**

Os pesquisadores envolvidos com o referido projeto são: Doutorando Ricardo Theis Geraldi (Pesquisador Responsável/Principal), orientado pela Profª Drª Andreia Malucelli e, co-orientado pela Profª Drª Sheila Reinehr, na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) e, com eles(as), você poderá manter contato pelos telefones: (44) 9 9141-3773, (41) 9 9994-2492 e (41) 9 9997-4083. Os pesquisadores também podem ser contactados nos e-mails: ricardo.geraldi@ppgia.pucpr.br, malu@ppgia.pucpr.br e sheila.reinehr@pucpr.br.

O Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) é composto por um grupo de pessoas que estão trabalhando para garantir que seus direitos como participante de pesquisa sejam respeitados. Ele tem a obrigação de avaliar se a pesquisa foi planejada e se está sendo executada de forma ética. Se você achar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você imaginou ou que está sendo prejudicado de alguma forma, você pode entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da PUCPR (CEP) pelo telefone (41) 3271-2103 entre segunda e sexta-feira das 08h00 às 17h30 ou pelo e-mail [cep@pucpr.br](mailto:cep@pucpr.br)

**DECLARAÇÃO**

Declaro que li e entendi todas as informações presentes neste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e tive a oportunidade de discutir as informações deste termo. Todas as minhas perguntas foram respondidas e eu estou satisfeito com as respostas. Entendo que receberei uma via assinada e datada deste documento e que outra via assinada e datada será arquivada nos pelo pesquisador responsável do estudo.

Enfim, tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.

**Q1.1.**

Caro Participante, você concorda com o TCLE e aceita participar deste estudo?

Por favor, selecione uma das opções a seguir e clique no botão "Próximo" (no fim da página)

- Sim. Eu aceito participar deste estudo.
- Não. Eu não aceito participar deste estudo.

**Dados Pessoais (serão anonimizados)****Q2. Dados Pessoais**

(Serão anonimizados conforme os termos do TCLE)

**Q2.1. Nome Completo****Q2.2. Telefone/Celular**

Q2.3. E-mail

### Objective and Instructions

#### Q13. Objetivo e Instruções

**Avaliação do Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems (ProVarMod4CPS) em domínios de cidades inteligentes e agricultura.**

**Objetivo de Definição do Escopo.** Com base no Goal-Question Metric (GQM) (BASILI et al., 1994), o objetivo deste estudo é:

**Analisar o** processo ProVarMod4CPS, o ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model), e suas Diretrizes (Guidelines)

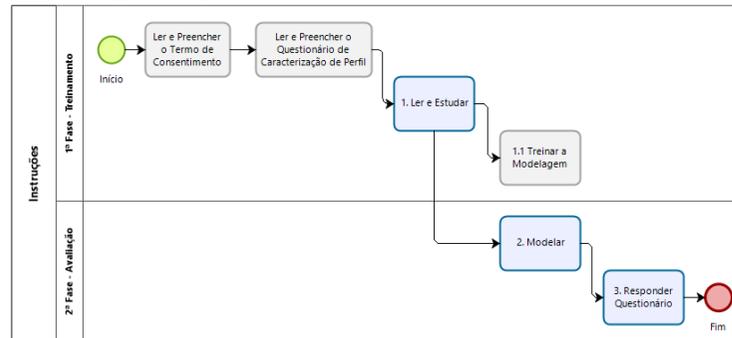
**para o propósito de** caracterizar o processo ProVarMod4CPS

**com respeito aos** domínios de CPS de cidades inteligentes e agricultura

**do ponto de vista de** especialistas de LPS

**no contexto de** pesquisadores ou profissionais de universidades e na indústria.

Esta **2ª fase** engloba as seguintes atividades em azul:



### 1. Reading and Studying

#### Q14. 1. Leitura e Estudo

Esta atividade engloba o download ([links em azul](#)), leitura, e estudo dos seguintes documentos:

- **01. Conceitos básicos de Sistemas Ciber-Físicos (SCF), Linhas de Produto de Software (LPS), Modelagem de Características, e Modelagem de Variabilidades de SCF**

- Compreender as atividades, tarefas e artefatos do processo *Proactive Variability Modeling Process for Cyber-Physical Systems* (ProVarMod4CPS). Por favor, faça o download ([links em azul](#)), leitura e estudo dos artefatos nesta sequência:

**ProVarMod4CPS**

- **02. ProVarMod4CPS - Documentação - Atividades e Tarefas**

**Artefatos**

- **03. ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** ([03.1 versão detalhada aqui](#)) apoiado pelo artefato **04. Diretrizes (04. Guidelines)**

- **05. LPS - Modelo de Característica (LPS - Smart Street Light - Modelo de Característica)**

- **06. LPS - Matriz de Instâncias** (esqueleto)

Os slides utilizados no Treinamento estão disponíveis [aqui](#)

**QBS:** A **07. Lista de Verificação (07. Checklist)** (artefato) não será avaliada neste estudo, mas faz parte do processo ProVarMod4CPS. Também, as **Restrições de Características (Feature Constraints)** e **Atributos de Características (Feature Attributes)** do artefato **Diretrizes (Guidelines)** não são avaliados neste estudo. Um segundo estudo está sendo planejado para avaliar tais elementos.

## 2. Modeling

### Q15. LEIA PRIMEIRO

As questões a seguir não avaliam seus conhecimentos ou capacidades/habilidades de modelagem. Não se preocupe!

Não há respostas corretas e incorretas. Essa modelagem visa avaliar como o processo ProVarMod4CPS será utilizado na modelagem de três configurações aleatórias da LPS Arable Farming.

### Q16. 2. Modelagem

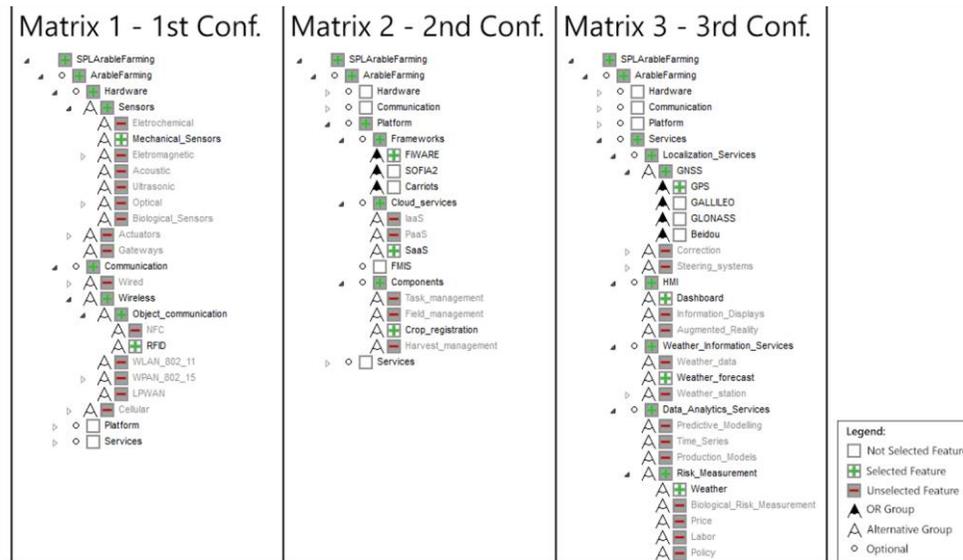
Esta atividade engloba a modelagem de características com o processo **ProVarMod4CPS** e **05. LPS Arable Farming** utilizando os documentos baixados na fase **1. Reading and Studying**.

Analise as características que você considera equivalentes do artefato **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** consultando as **Diretrizes (Guidelines)** (olhar **RM. Recomendações de Modelagem (MR. Modeling Recommendation)** por meio da associação de características do artefato **LPS - Modelo de Característica (SPL - Feature Model)** (Arable Farming).

Para esta ação, preencha três matrizes de configuração:

- utilizando o **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model) (Doc. 03 e Doc. 04 - Diretrizes)**, e
- utilizando o **LPS - Arable Farming - Modelo de Característica (SPL - Arable Farming - Feature Model) (Doc. 05)**.

**QBS:** Em primeiro lugar, você pode ver as características selecionadas e configuradas relacionadas com cada matriz nas figuras a seguir.



NA PRÁTICA: As configurações foram derivadas na FeatureIDE v3.7 (Eclipse IDE) [Windows 64bit](#), [MacOS 64bit](#), ou [Linux 64bit](#); Site: <https://featureide.github.io>  
 Estas configurações podem ser visualizadas por meio do [projeto desenvolvido para esta avaliação](#) utilizando a função "Importar" na FeatureIDE v3.7 (Eclipse IDE).  
**A FeatureIDE pode ser útil para interagir com o LPS - Modelo de Característica - Arable Farming (SPL - Feature Model - Arable Farming).**

Q17. **Matriz 1** - 1ª configuração da LPS Arable Farming.

Por favor, selecione as características que você considera equivalentes entre **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** e **LPS - Arable Farming - Modelo de Característica (SPL - Arable Farming - Feature Model)**

	Hardware		Communication		
	Sensors	Mechanical_Sensors	Wireless	Object_communication	RFID
Comportamento Reativo (ReactiveBehavior)	<input type="checkbox"/>				
Concorrência (Concurrency)	<input type="checkbox"/>				
Computação em Tempo Real (RealTimeComputation)	<input type="checkbox"/>				



Q19.

**Matriz 3** - 3ª configuração da LPS Arable Farming.

Por favor, selecione as características que você considera equivalentes entre **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** e **LPS - Arable Farming - Modelo de Característica (SPL - Arable Farming - Feature Model)**

	Services									
	Localization_Services	GNSS	GPS	HMI	Dashboard	Weather_Information_Services	Weather_forecast	Data_Analytics_Services	Risk_Measurement	Weather
Comportamento Reativo (ReactiveBehavior)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Concorrência (Concurrency)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Computação em Tempo Real (RealTimeComputation)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Segurança e Resiliência (SecurityResiliency)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Desempenho X Interoperabilidade X Heterogeneidade (PerformanceXInteroperabilityXHeterogeneity)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Componentes SCF (CPSComponents)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Verificação e Validação (VerificationAndValidation)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Estrutura Topológica Dinâmica (DynamicTopologicalStructure)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Ciclo de Vida X Níveis de Automação (LifeCycleXAutomationLevels)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Computação em Nuvem (CloudComputing)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Aspectos Transversais (CrossCuttingAspects)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

**3. Answer Questionnaire**

Q20.

**3. Responder Questionário**

Q21. Avaliação: Artefatos **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** e **Diretrizes (Guidelines)**.

Q22.

**English:**

Please click on the following features of the **ProVarMod4CPS - Feature Model** that you think might help in the modeling the CPS main features. Choose "Like", "Neither like nor dislike", or "Dislike" for each feature. The **Guidelines artifact** may be consulted to help in this decision.

**Português Brasileiro:**

Por favor, clique nas características a seguir do **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (ProVarMod4CPS - Feature Model)** que você acredita poder ajudar na modelagem das principais características de SCF. Escolha "Gostar (Like)", "Não gostar nem gostar (Neither like nor dislike)", ou "Não gostar (Dislike)" para cada característica. O artefato **Diretrizes (Guidelines)** pode ser consultado para ajudar em tal decisão.

ComportamentoReativo(ReactiveBehavior) Concorrência(Concurrency) ComputaçãomTempoReal(RealTimeComputation) SegurançaEResiliência(SecurityResiliency) DesempenhoXInteroperabilidadeXHeterogeneidade(PerformanceXInteroperabilityXHeterogeneity) ComponentesSCF(CPSComponents) VerificaçãoEValidação(VerificationAndValidation) EstruturaTopologicaDinâmica(DynamicTopologicalStructure) CiclodeVidaXNíveisdeAutomação(LifeCycleXAutomationLevels) ComputaçãomNuvem(CloudComputing) AspectosTransversais(CrossCuttingAspects)

Q23. Observando o artefato **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** é possível visualizar várias características obrigatórias (mandatory). É importante salientar que estas características estão associadas e descritas em Variabilidades Técnicas (Technical Variabilities (TV)) e Organizacionais (Organizational Variabilities (OV)) no artefato **Diretrizes (Guidelines)**.

- O que você considera necessário para manter estas características como **obrigatórios (mandatory)**.
- Você acredita que os especialistas poderiam escolher um conjunto de características como **opcionais (optional)**.

Q24. Justifique a opção selecionada na questão anterior Q23.

Q25.

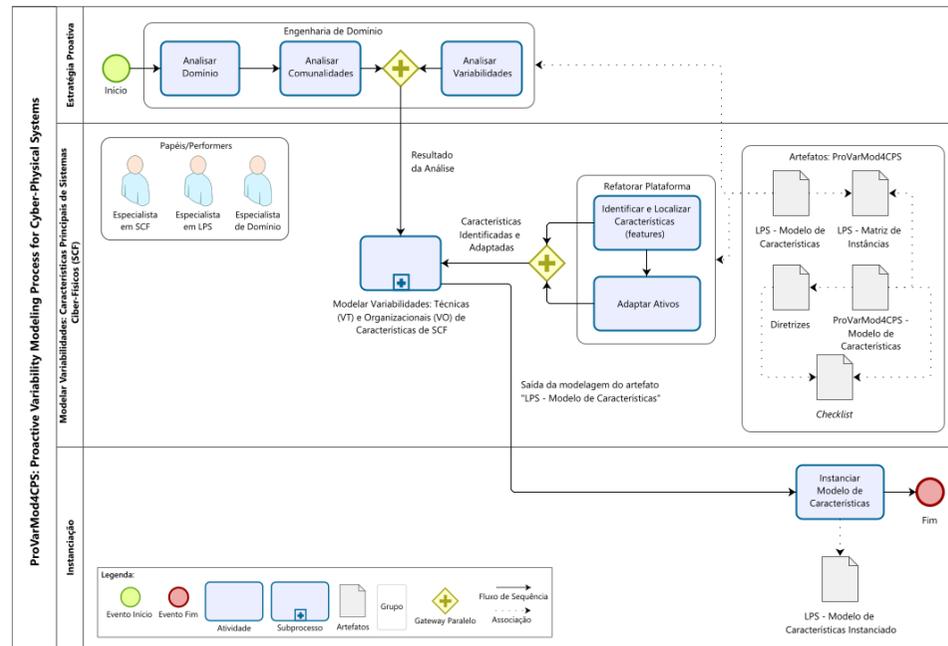
Com base nos seus conhecimentos e experiências em diferentes domínios (por exemplo, cidades inteligentes, agricultura, ou saúde), você poderia sugerir características para melhorar os artefatos **ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (Feature Model)** e **Diretrizes (Guidelines)**?

Q26.

Você acha que as TVs e as OVs incluídas no artefato das **Diretrizes (Guidelines)** deveriam ter no mínimo um exemplo de implementação em qualquer domínio específico (por exemplo, cidades

inteligentes, agricultura, ou saúde)? Justifique.

Q27. Avaliação: **Processo ProVarMod4CPS**



Q28.

Analise se o **processo ProVarMod4CPS** é compreensível com base nas afirmações das [Sete Diretrizes de Modelagem de Processos \(7PMG - Seven Process Modeling Guidelines\) \(Mendling et al., 2010\)](#) ([link do artigo](#))

	Nada compreensível	Pouco compreensível	Muito compreensível	Extremamente compreensível
<p><b>Avaliação dos Elementos.</b> Utilizar o menor número possível de elementos no modelo. O tamanho do modelo tem efeitos indesejáveis sobre a compreensibilidade e a chances de erros: Modelos maiores tendem a ser mais difíceis de compreender e têm uma probabilidade de erro mais elevada do que os modelos menores.</p>	○	○	○	○
<p><b>Avaliação de Roteamento.</b> Minimizar os caminhos de roteamento por elemento. Quanto maior for o grau de um elemento no modelo de processo, ou seja, o número de entradas e saídas juntos, mais difícil se torna compreender o modelo. Existe uma forte correlação entre o número de erros de modelagem e o nível médio ou máximo de elementos em um modelo.</p>	○	○	○	○
<p><b>Avaliação de Eventos.</b> Utilizar um evento de início e um evento de fim. O número de eventos de início e de fim está positivamente conectado a um aumento da probabilidade de erro. A maioria dos mecanismos de fluxo de trabalho (workflow) requer um único nó de início e de fim. Além disso, os modelos que satisfazem este requisito são mais fáceis de compreender e permitem todos os tipos ou análises (por exemplo, soundness checks).</p>	○	○	○	○
<p><b>Avaliação da Estrutura.</b> Modelo tão estruturado quanto possível. Um modelo de processo é estruturado se cada conector dividido corresponder a um respectivo conector de junção do mesmo tipo. Os modelos estruturados podem ser vistos como fórmulas com parênteses equilibrados, ou seja, cada parêntese de abertura tem um parêntese de fecho correspondente do mesmo tipo. Os modelos não estruturados não são apenas mais susceptíveis de incluir erros, as pessoas também tendem a compreendê-los com menos facilidade.</p>	○	○	○	○
<p><b>Avaliação de Roteamento OR.</b> Evitar elementos de roteamento OR. Os modelos que têm apenas conectores AND e XOR são menos susceptíveis a erros (error-prone). Além disso, existem algumas ambiguidades na semântica da junção OR (OR-join) que conduzem a paradoxos e problemas de implementação.</p>	○	○	○	○
<p><b>Avaliação das Atividades.</b> Utilizar rótulos (labels) de atividade verbo-objeto (verb-object). Uma ampla exploração dos estilos de rotulagem (labeling) que são utilizados em modelos de processo reais, revela a existência de dois estilos populares e uma categoria de apoio. A partir destes, as pessoas consideram o estilo verbo-objeto, "Informar</p>	○	○	○	○

complainant", como significativamente menos ambíguos e mais úteis do que os rótulos de substantivos de ação (por exemplo "Complaint analysis") ou rótulos que não sigam nenhum destes estilos (por exemplo "Incident agenda").

**Avaliação de Decomposição.** Decompor o modelo se ele tem mais de 50 elementos. Para modelos com mais de 50 elementos, a probabilidade de erro tende a ser superior a 50%. Portanto, os modelos grandes devem ser divididos em modelos menores. Os sub-componentes grandes com uma única entrada e uma única saída podem ser substituídos por uma atividade que aponte para o sub-componente original como modelos separados.

Nada compreensível      Pouco compreensível      Muito compreensível      Extremamente compreensível

Q29.

A qualidade pragmática do [SIO framework \(Reijers et al., 2010\)](#) [\(link do artigo\)](#) engloba o "objetivo de chegar a um modelo de processo que possa ser compreendido pelas pessoas", e o "modelo pode ser perfeitamente compreendido em termos das relações que estão a ser expressas entre os seus elementos". De acordo com a qualidade pragmática, o compreensível-por-projeto (understandable-by-design) avalia "a conexão empírica entre compreensão, erros, e métricas do modelo".

Com base nas [Sete Diretrizes de Modelagem de Processo \(7PMG - Seven Process Modeling Guidelines\) \(Mendling et al., 2010\)](#) [\(link do artigo\)](#), você considera o processo ProVarMod4CPS **Compreensível-por-Projeto (Understandable-by-Design)**?

Nada compreensível      Pouco compreensível      Muito compreensível      Extremamente compreensível

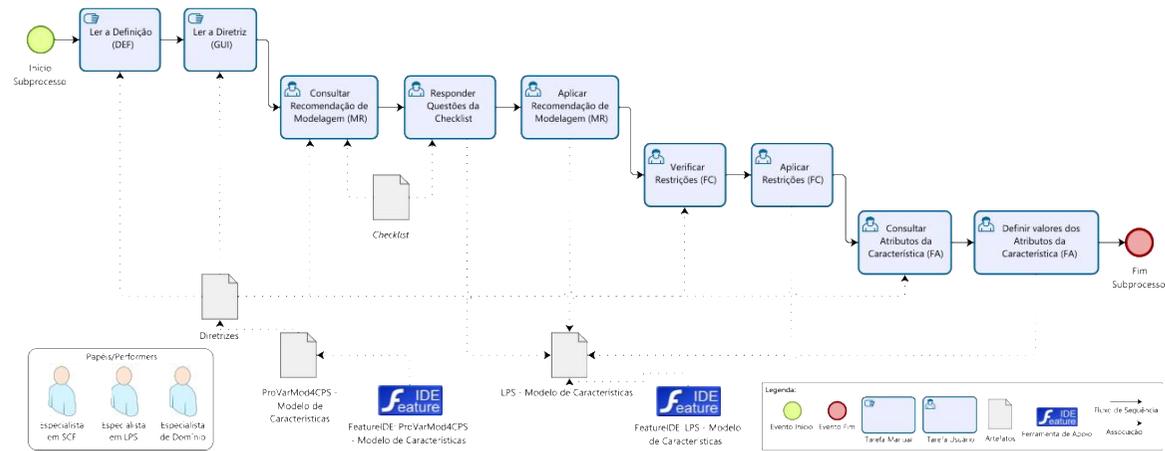
                

Q30.

Você considera que as tarefas representadas no subprocesso **ProVarMod4CPS** podem guiar e facilitar a modelagem das principais características de CPS?

Por favor comente sobre a descrição e importância das tarefas: Definição (**DEF.** Definition), Diretrizes (**GUI.** Guidelines), Recomendações de Modelagem (**MR.** Modeling Recommendation), Restrições de Características (**FC.** Feature Constraints), e Atributos de Características (**FA.** Feature Attributes).

O **subprocesso ProVarMod4CPS** é representado como segue:



**Q31. Ler a Definição (DEF. Definition)**

A 1ª tarefa manual é realizada por meio da leitura da Definição (DEF. Definition) de Variáveis Técnicas (TV. Technical Variabilities) e Organizacionais (OV. Organizational Variabilities) das características identificadas e classificadas a partir da literatura de SCF (livros e artigos nas principais bases científicas). O artefato Diretrizes (Guidelines) deve ser utilizado para ler e compreender as DEFs.

**Q32.**

**Ler a Diretriz (GUI. Guideline)**

Nesta 2ª tarefa manual, as Diretrizes (GUI. Guideline) são entendidas como especificações baseadas nos DEFs. Uma ou várias GUI têm de ser acessadas por meio da utilização do artefato Diretrizes (Guidelines). Este artefato tem uma ou mais DEFs e GUIs inter-relacionadas especificadas como parte das Variabilidades Técnicas (TV. Technical Variabilities) ou Organizacionais (OV. Organizational Variabilities) das características de SCFs. As GUIs devem ser consultadas e utilizadas com base no artefato Diretrizes (Guidelines) para iniciar e guiar a melhoria da LPS - Modelo de Característica (SPL - Feature Model).

**Q33.**

**Consultar Recomendação de Modelagem (MR. Modeling Recommendation)**

A 3ª tarefa envolve a consulta da Recomendação de Modelagem (MR. Modeling Recommendation) de acordo com o artefato Diretrizes (Guidelines) para cada uma das TVs e OV's de características de SCF. As MRs visam ajudar na melhoria da modelagem por meio das recomendações contidas nos artefatos Diretrizes (Guidelines) e Lista de Verificação (Checklist). As MRs podem ser acessadas para ajudar na modelagem do artefato LPS - Modelo de Característica (SPL - Feature Model).

Recomenda-se a utilização da ferramenta FeatureIDE como apoio à modelagem.

Q34.

**Responder Questões da Checklist**

Nesta 4ª tarefa, é necessário compreender uma ou várias MRs e responder às questões da Lista de Verificação (Checklist). Assim, é observado e verificado como melhorias na modelagem do artefato LPS - Modelo de Característica (SPL - Feature Model) quando os MRs são aplicados na quinta e próxima atividade deste sub-processo.

Recomenda-se a utilização da ferramenta FeatureIDE como apoio à modelagem.

Q35.

**Aplicar Recomendação de Modelagem (MR. Modeling Recommendation)**

Nesta 5ª tarefa, uma ou várias MRs têm de ser aplicadas/propagadas no artefato LPS - Modelo de Característica (SPL - Feature Model) com base nas consultas anteriores realizadas nos artefatos Diretrizes (Guidelines) e Lista de Verificação (Checklist). Recomenda-se a utilização da ferramenta FeatureIDE como apoio à modelagem.

Q36.

**Verificar Restrições (FC. Feature Constraints)**

Nesta 6ª tarefa, as restrições das TVs e OV's (variabilidades) entre as características foram especificadas nos artefatos ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (ProVarMod4CPS - Feature Model) e Diretrizes (Guidelines). As Restrições de Características (FC. Feature Constraints) do artefato ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (ProVarMod4CPS - Feature Model) podem ser verificadas por meio da ferramenta de apoio FeatureIDE. As FCs foram modeladas de acordo com a definição de restrições de variabilidade da ISO/IEC 26550:2015: "relações de restrição entre uma variante e um ponto de variação, entre duas variantes, e entre dois pontos de variação". No contexto deste processo, as restrições entre variantes são equivalentes às Restrições de Características (FC. Feature Constraints), ou seja, variante = característica.

Q37.

**Aplicar Restrições (FC. Feature Constraints)**

Nesta 7ª tarefa, uma ou várias FCs têm de ser aplicadas/propagadas ao artefato LPS - Modelo de Característica (SPL - Feature Model) com base nas consultas anteriormente realizadas nas FCs nos artefatos Diretrizes (Guidelines) e ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (ProVarMod4CPS - Feature Model). Recomenda-se a utilização da ferramenta FeatureIDE como apoio à modelagem.

Q38.

**Consultar Atributos da Característica (FA. Feature Attributes)**

A 8ª tarefa envolve a consulta de atributos especificados em várias características das TVs e OVs nos artefatos Diretrizes (Guidelines) e ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (ProVarMod4CPS - Feature Model). Os Atributos da Característica (FA. Feature Attributes) são úteis para descrever em detalhes os valores de uma ou várias características.

**Q39. Definir valores dos Atributos da Característica (FA. Feature Attributes)**

Nesta 9ª última tarefa, os valores das FAs podem ser especificados para propagação no artefato LPS - Modelo de Característica (SPL - Feature Model), com base nas consultas anteriores das FAs nos artefatos Diretrizes (Guidelines) e ProVarMod4CPS - Modelo de Característica (ProVarMod4CPS - Feature Model). Por exemplo, uma FA pode ser uma unidade de medida em Celsius para uma temperatura de sensor associada a uma característica Sensores. Recomenda-se a utilização da ferramenta FeatureIDE para apoiar a descrição dos valores de FAs.

**Q40. Subprocesso Simplificado**

Corresponde às mesmas tarefas representadas neste sub-processo, mas com os nomes das tarefas simplificados utilizando acrônimos: Definição (DEF. Definition), Orientação (GUI. Guideline), Recomendação de Modelagem (MR. Modeling Recommendation), Restrições de Características (FC. Feature Attributes), e Atributos de Características (FA. Feature Attributes). Este Subprocesso Simplificado torna a representação gráfica curta e concisa para visualização por especialistas que irão utilizar o sub-processo ao longo do tempo.

O **Subprocesso Simplificado** é representado da seguinte forma:



ANEXO A - LINHA DE PRODUTO DE SOFTWARE ARABLE FARMING (FEATURE MODEL)

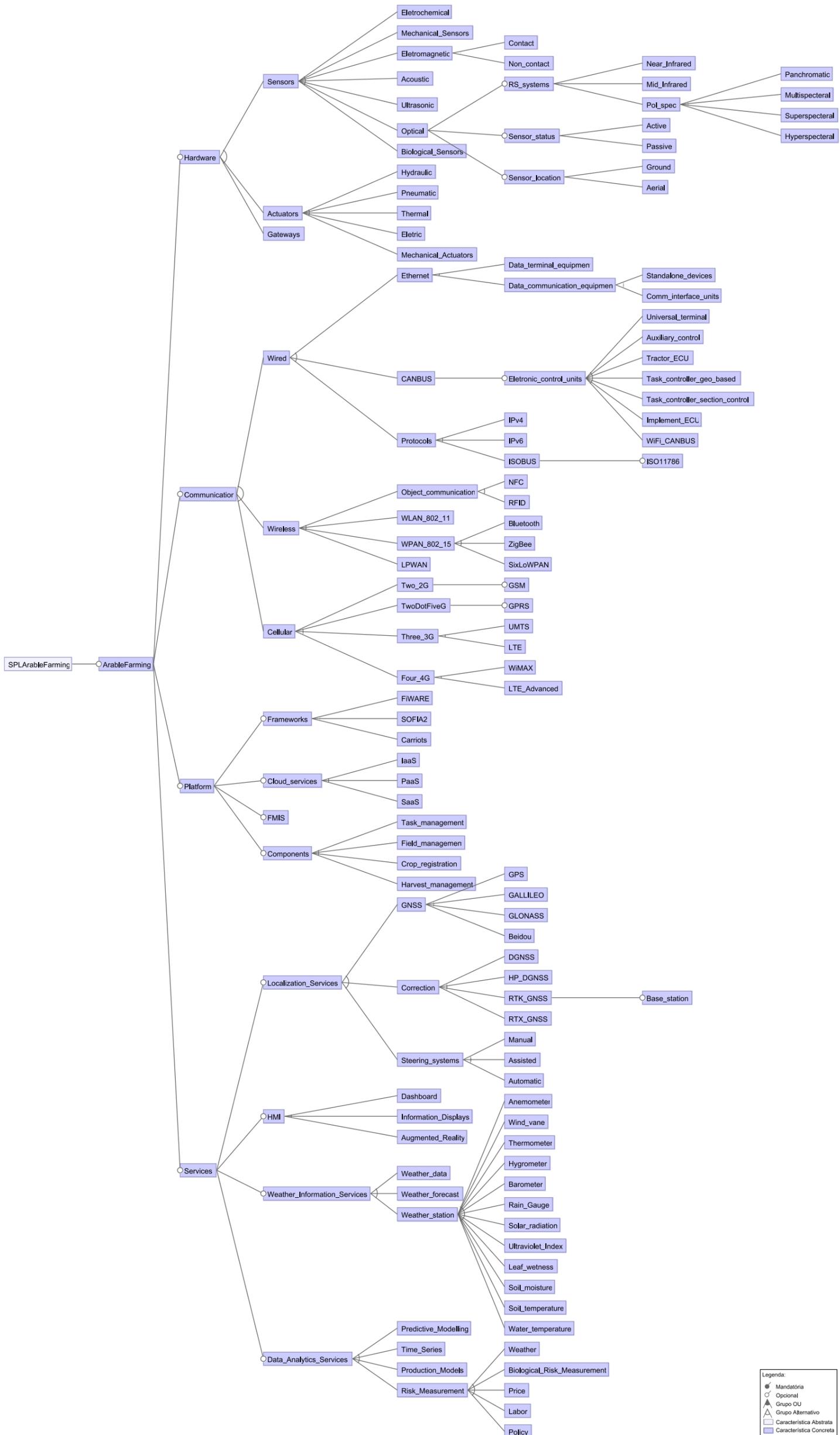


Figura 83. Feature Model da LPS Arable Farming (NISPEN, 2018).

A Tabela 51, Tabela 52, Tabela 53 e Tabela 54 apresentam as descrições traduzidas na íntegra das características da LPS *Arable Farming* (NISPEN, 2018).

**Tabela 51. Descrições das características para a categoria Hardware. Traduzido na íntegra de Nispen (2018).**

CARACTERÍSTICAS HARDWARE	DESCRIÇÕES
<b>Sensors</b>	Um dispositivo que recebe e responde para um sinal.
Electrochemical	Mede a química do solo por meio de testes tais como pH ou níveis de nutrientes.
Mechanical	Mede a compactação do solo.
Acoustic	Permite analisar o sinal de áudio capturado por longos períodos de tempo. É utilizado para a detecção precoce do besouro ou escaravelho vermelho ( <i>Rhynchophorus ferrugineus</i> ).
Ultrasonic	Determina as lacunas e/ou alturas/dimensões entre culturas agrícolas para uma distribuição mais efetiva e eficiente de fertilizante e pesticida.
Electromagnetic	Permite medir as propriedades do solo que podem afetar a produtividade da cultura agrícola.
Contact	Eletrodos penetrados dentro do solo.
Non-contact (Non_contact)	Não faz contato físico com o solo.
Optical	Determina as três principais características da superfície da terra: vegetação, água e solo.
Remote sensing systems (RS_systems)	O Sensoriamento Remoto (RS) é a prática de obter informações sobre as superfícies terrestres e aquáticas da Terra. Para isso, utiliza-se imagens adquiridas por meio da radiação eletromagnética em uma ou mais regiões do espectro eletromagnético, refletidas ou emitidas das superfícies da Terra.
Near-Infrared (Near_Infrared)	Útil para aplicações alimentícias, incluindo a determinação do teor de umidade, gordura e proteína com comprimentos de onda de ~750 e ~2500.
Mid-Infrared (Mid_Infrared)	Fornecer uma impressão digital molecular para investigar estruturas simples com comprimentos de onda de ~2500 - ~23500.
Polarized Spectrum (Pol_spec)	Depende do número de bandas espectrais utilizadas no processamento de imagens.
Panchromatic	O sensor é um detector de canal único sensível à radiação dentro de uma ampla faixa de comprimento de onda, resultando em uma imagem em preto-e-branco.
Multispectral	O sensor é um detector multicanal com algumas bandas espectrais. Cada canal é sensível à radiação dentro de uma banda de comprimento de onda estreita. Isso resulta em uma imagem multicamada com informações de brilho e cores referente ao alvo (objeto) observado.
Superspectral	Um sensor de imagem super espectral tem muitos canais espectrais.
Hyperspectral	Um sistema de imagem hiper espectral é também conhecido como "espectrômetro de imagem". As imagens são obtidas em cerca de cem ou mais bandas espectrais contíguas. A imagem permite melhor caracterização e identificação referente ao alvo (objeto) observado.
Sensor status (Sensor_status)	Status do sensor.

Active	Os sensores ativos têm sua própria fonte de luz e tal sensor mede a energia refletida do dossel (cobertura) da cultura agrícola.
Passive	Os sensores passivos medem a energia refletida do alvo (objeto) que foi emitida a partir do sol.
Sensor location (Sensor_location)	Localização do sensor.
Ground	Um sensor coleta informações de uma plataforma localizada no solo (veículos ou dispositivos portáteis).
Aerial	Um sensor coleta informações de uma plataforma aérea (tripulada ou não tripulada).
Biological	Determina a qualidade, segurança alimentar ou monitoramento da poluição ambiental.
<b>Actuators</b>	Um dispositivo que converte energia em movimento ou força para mover uma carga. Esse movimento pode ser de qualquer forma, como bloqueio, de fixação ou de ejeção. Atuadores podem ser categorizados pela fonte de energia que necessitam para gerar movimento.
Hydraulic	Converte a energia de pressão do fluido em energia mecânica.
Pneumatic	Converte o ar comprimido em movimento mecânico.
Thermal	Converte a energia térmica em movimento.
Electric	Controle de movimento da próxima geração quando comparado aos atuadores hidráulicos e pneumáticos.
Mechanical	Converte uma entrada mecânica (geralmente rotativa) em movimento
<b>Gateways</b>	Um nó de rede equipado para fazer a interface com outra rede que utiliza protocolos diferentes.

**Tabela 52. Descrições das características para a categoria Communication. Traduzido na íntegra de Nispen (2018).**

<b>CARACTERÍSTICAS COMMUNICATION</b>	<b>DESCRIÇÕES</b>
<b>Wired</b>	Permite a conexão entre nós na rede por meio de um fio/cabo.
802.3 Ethernet (Ethernet)	Família de produtos de rede local abrangidos pela norma IEEE 802.3
Data terminal equipment (DTE) (Data_terminal_equipment)	Dispositivos que são a fonte ou o destino dos dados (PCs ou estações de trabalho).
Data communication equipment (DCE) (Data_communication_equipment)	Dispositivo de rede intermediário que recebe e encaminha os dados.
Standalone devices (Standalone_devices)	Repetidores, switch de rede e roteadores.
Communication interface units (Comm_interface_units)	Modens.
<b>CANBUS</b>	O <i>Controller Area Network</i> (CANBUS) é um barramento e sistema nervoso que executa/roda do início até o fim da máquina, permitindo a comunicação entre os dispositivos da máquina.
Electronic control units (Eletronic_control_units)	As unidades de controle eletrônico são os dispositivos em um CANBUS.
Universal terminal (Universal_terminal)	Tem a capacidade de operar um implemento agrícola com qualquer terminal.
Auxiliary control (Auxiliary_control)	Facilita a operação de equipamentos complexos, como joysticks. Envolve também a capacidade de

	controlar funções de implementos agrícolas por meio de um elemento de controle adicional.
Tractor Eletronic Control Unit (ECU) (Tractor_ECU)	Fornecer todos os dados disponíveis do trator, como velocidade e RPM, definidos conforme o padrão ISO11786.
Task controller geo-based (Task_controller_geo_based)	Capacidade de capturar dados baseados na localização - ou planejamento de tarefas/trabalhos baseados na localização.
Task controller section control (Task_controller_section_control)	Mudança automática da seção/contexto com base na localização GNSS e na observação realizada pelo sensor.
Implement ECU (Implement_ECU)	Permite que um implemento agrícola controle automaticamente funções específicas, como velocidade ou estado/status das válvulas.
WiFi CANBUS (WiFi_CANBUS)	Módulo para obter acesso aos dados de log (registros) de um CANBUS sem a utilização de um computador.
Protocols	Um procedimento aceito e utilizado pelos desenvolvedores.
IPv4	Um dos métodos padronizados de Internetworking mais utilizados para rotear o tráfego da Internet.
IPv6	A versão 6 do <i>Internet Protocol</i> (IP) é a nova versão do IP, projetado como o sucessor da versão 4 do IP.
ISOBUS	Um protocolo padrão para permitir que as ECUs, conectadas em uma rede de veículos, se comuniquem umas com as outras.
ISO11786	Protocolo de comunicação para máquinas agrícolas que inclui CANBUS.
<b>Wireless</b>	Permite que vários dispositivos ao redor da área da rede se comuniquem livremente e ainda mantenham uma conexão com a Internet.
Object communication (Object_communication)	Cada objeto tem uma única e imodificável identidade em relação às suas referências de instâncias.
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> (RFID) é uma tecnologia que comunica informações sobre um objeto por meio de ondas de rádio. A informação é gravada em uma etiqueta eletrônica (RFID <i>tag</i> ), na qual é anexada a um objeto e as informações são transferidas por meio de um leitor quando solicitado.
NFC	<i>Near Field Communication</i> (NFC) tecnologia de interconexão ponto-a-ponto sem fio que possui uma faixa muito curta de alcance (poucos centímetros (cm) ou no máximo 20 cm). Permite que os usuários de dispositivos eletrônicos portáteis acessem conteúdo e serviços de maneira intuitiva simplesmente "tocando" ( <i>touching</i> ) objetos inteligentes.
WLAN 802.11 (WLAN_802_11)	As <i>Wireless LANs</i> (WLAN) são redes de computadores sem fio que conectam dois ou mais dispositivos utilizando os padrões IEEE 802.11. Taxa máxima de dados: 11Mbit/s.
WPAN 802.15 (WPAN_802_15)	A <i>Wireless Personal Area Network</i> (WPAN) é uma rede sem fio de baixo alcance que cobre uma área com algumas dezenas de metros.
Bluetooth	Tecnologia WPAN amplamente utilizada para permitir que até 8 dispositivos se comuniquem sem fio. Taxa máxima de dados: 1-3 Mbit/s.
ZigBee	WPAN de baixa taxa (LR-WPAN). Opera nas camadas básicas do 802.15.4 e aplica a topologia de

	malha ( <i>mesh</i> ). O padrão de rede <i>mesh</i> sem fio mais popular, de baixo custo e baixo consumo de energia. Taxa máxima de dados: 250 kbit/s.
6LoWPAN (SixLoWPAN)	WPAN de baixa potência que combina o IPv6. Permite que os menores dispositivos, com poder de processamento limitado, tenham a capacidade para transmitir informações sem fio. É o mais novo concorrente do ZigBee.
LPWAN	Low-Power Wide Area Networks (LPWAN) são utilizadas quando outras redes sem fio não são adequadas. Um LPWAN é normalmente utilizada para conectar dispositivos que precisam enviar pequenas quantidades de dados por um longo intervalo de alcance.
<b>Cellular</b>	Rede de rádio distribuída por terra onde cada célula tem um transceptor (transmissor e receptor) de localização fixa conhecido como estação base. Esse tipo de comunicação fornece cobertura de rádio em áreas geográficas maiores.
2G (Two_2G)	<i>Global System for Mobile Communication</i> (GSM) é um padrão de segunda geração (2G) para redes móveis que utilizam células de uma rede celular.
GSM	O sistema global de comunicações móveis é o padrão pelo qual a grande maioria dos aparelhos celulares se comunica. A maioria dos aparelhos GSM são utilizados principalmente para voz, mas podem ser utilizados para acesso móvel à Internet via GPRS.
2.5G (TwoDotFiveG)	O <i>General Packet Radio Services</i> (GPRS) foi criado e acrescentado à rede GSM para um maior volume de dados, aprimorado para o status de 2.5G. O GPRS é compatível com redes 2G e 3G. Taxa máxima de dados: 114Kbp/s
GPRS	O GPRS é um sistema utilizado para transmitir dados (enviar e receber e-mails e navegar na Internet). É um sistema experimentado, testado e confiável para utilização de dados móveis padrão.
3G (Three_3G)	É uma atualização do padrão 2G que permite a computação em nuvem. Não é compatível com a infraestrutura 2G. Taxa máxima de dados: 384 Kbp/s.
UMTS	É a terceira geração (3G) da tecnologia de telecomunicações móveis. Não abrangidos todos os lugares, os dispositivos UMTS fora dos limites da rede UMTS, serão transferidos para a cobertura GSM.
LTE	O <i>Long Term Evolution</i> (LTE) é primeiro passo em direção a 4G. O LTE exige uma nova tecnologia de rede. Isso significa que os dispositivos precisarão ter um receptor compatível.
4G (Four_4G)	Quarta geração de tecnologia celular com velocidades de download comparáveis à da Internet de banda larga. Taxa máxima de dados: 100Mbps/s, enquanto que algumas redes 4G possuem 1Gbp/s.
WiMAX	Interoperabilidade Mundial para Acesso por Micro-ondas, que representa a quarta geração (4G) da Internet sem fio. É semelhante ao Wi-Fi, mas abrange grandes distâncias.
LTE-Advanced (LTE_Advanced)	É o mais recente avanço da tecnologia 4G que está em direção ao 5G. Em vez de se conectar a uma

banda de frequência, o LTE-A faz downloads de dados por meio de múltiplas faixas de frequência.

**Tabela 53. Descrições das características para a categoria Platform. Traduzido na íntegra de Nispen (2018).**

<b>CARACTERÍSTICAS PLATFORM (SOFTWARE)</b>	<b>DESCRIÇÕES</b>
<b>Framework</b>	Um sistema que disponibiliza seus dados tanto para usuários quanto para sistemas externos que podem ser desenvolvidos na plataforma.
FIWARE	Fornece um ambiente de nuvem com um conjunto de APIs padrão abertas que facilitam a conexão à IoT, o processo e a análise de dados ou recursos avançados para interação do usuário.
SOFIA2	Middleware que permite a interoperabilidade de vários sistemas e dispositivos com capacidades de processo e análise.
Carriots	Middleware que conecta dispositivos a dispositivos, dispositivos a outros sistemas e, sistemas a sistemas. Esse <i>framework</i> é escalável facilmente com sistemas de TI externos com um conjunto de APIs e serviços web.
<b>Cloud services (Cloud_services)</b>	É um modelo para compartilhar recursos e permitir acesso sob demanda a coisas como armazenamento de dados, software e processamento.
IaaS	A Infraestrutura como Serviço ( <i>Infrastructure as a Service (IaaS)</i> ) oferece poder computacional bruto para provedores de serviços.
PaaS	A Plataforma como Serviço ( <i>Platform as a Service (PaaS)</i> ) é um ambiente de nuvem ou plataforma para desenvolvedores criarem aplicativos em nuvem.
SaaS	O Software como Serviço ( <i>Software as a Service (SaaS)</i> ) interage com os usuários por meio de um cliente, como um aplicativo ou navegador móvel.
<b>FMIS</b>	<i>Farm Management Information System (FMIS)</i> , é um sistema planejado para coletar, processar, armazenar e disseminar dados na forma necessária para realizar as operações e funções de uma fazenda.
<b>Components</b>	Componentes de software são partes de um sistema ou aplicativo. Componentes são um meio de dividir a complexidade do software em partes gerenciáveis.
Task management (Task_management)	Um componente para ajudar os agricultores a gerenciar todas as atividades de campo.
Field management (Field_management)	Sistema de gerenciamento de campo que facilita o monitoramento remoto de terrenos agrícolas. Esse sistema permite que seus usuários planejem e executem operações agrícolas com eficiência.
Crop registration Harvest (Crop_registration_Harvest)	Um componente para ajudar os agricultores a gerenciar as atividades em torno das culturas agrícolas.
Harvest management (Harvest_management)	Um componente que facilita o monitoramento do rendimento para permitir que os agricultores obtenham uma visão mais orientada por dados sobre seu ciclo de colheita e cultivo.

**Tabela 54. Descrições das características para a categoria Services. Traduzido na íntegra de Nispen (2018).**

<b>CARACTERÍSTICAS SERVICES</b>	<b>DESCRIÇÕES</b>
<b>Localization service</b>	
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> (GNSS) é o termo genérico padrão para sistemas de navegação por satélite que fornecem posicionamento geoespacial autônomo com abrangência global.
GPS	<i>Global Position System</i> (GPS) é um sistema de navegação por satélite usado para determinar a posição do chão/solo de um objeto. O GPS foi desenvolvido pelos Estados Unidos.
GLONASS	<i>Global Navigation Satellite System</i> (GLONASS) é uma versão Russa do GPS.
GALLILEO	O GALILEO é o GNSS da Europa. O GALILEO fornece informações aprimoradas de posicionamento e tempo com implicações positivas e significativas para muitos serviços e usuários Europeus.
Beidou	É a quarta versão de GNSS desenvolvido pela China.
Correction Services (Correction)	Aprimoramento do sistema de navegação por satélite que melhora a precisão da localização.
DGNSS	<i>Diferencial Global Positioning Systems</i> (DGNSS) é um serviço que melhora a precisão da localização do GPS. Utiliza o sinal de correção diferencial do <i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i> (EGNOS).
HP-DGNSS (HP_DGNSS)	Um serviço que melhora a precisão da localização do GPS. Tal serviço utiliza a correção diferencial de sinal HP da OmniSTAR.
RTK-GNSS	Real Time Kinematic GPS é um serviço que oferece maior precisão. Combina dados de satélite com uma estação terrestre no mesmo local que o usuário está.
Base station (Base_station)	Um local fixo que recebe dados do satélite e calcula a distância do veículo habilitado para GNSS. A correção é tão precisa quanto a localização conhecida da estação base, bem como a qualidade da observação por satélite da estação base.
RTX-GNSS	Fornecer uma precisão em tempo real (em cm) sem a utilização direta de uma infraestrutura de referência (estação base).
Steering Systems (Steering_systems)	Sistemas que mantêm os veículos agrícolas em operação com o objetivo de minimizar omissões, sobreposições e suposições de linhas em um percurso.
Manual	Fornecer uma orientação paralela por meio de uma barra de luzes ou display de LED para corrigir a direção do percurso. A precisão depende do display e da habilidade do motorista.
Assisted steering sys. (Assisted)	Uma tecnologia flexível que pode ser usada em diferentes máquinas. O veículo é dirigido automaticamente ao longo da via paralela intervindo ativamente no processo de direção.
Automatic system (Automatic)	Um componente integral do veículo que controla ativamente o sistema hidráulico de direção do veículo. Possui o maior nível de precisão.
<b>HMI</b>	A Interface Homem-Máquina ( <i>Human Machine Interface</i> – (HMI)) é a interface entre o processo e os operadores - em essência, o painel do operador ( <i>dashboard</i> ).

Dashboard	Fornece visualizações instantâneas dos KPIs relevantes para os processos de negócios. Geralmente, os painéis ( <i>dashboards</i> ) são exibidos em uma página da web vinculada a uma base de dados.
Information Displays (Information_Displays)	Ajuda a monitorar e mapear informações com precisão em tempo real.
Augmented Reality Service (Augmented_Reality)	Utiliza o ambiente natural existente e sobrepõe informações virtuais sobre tal ambiente.
<b>Weather Info Services (Weather_Information_Services)</b>	Serviço para ajudar os agricultores a otimizar o rendimento das culturas agrícolas. Orienta as ações dos agricultores por meio de previsões meteorológicas futuras ou iminentes para áreas locais.
Weather data (Weather_data)	Dados do tempo/clima históricos e reais.
Weather forecast (Weather_forecast)	Engloba uma visão geral da previsão do tempo (condições meteorológicas) para tomar melhores decisões com base em tais previsões.
Weather station (Weather_station)	Uma unidade com instrumentos e equipamentos para medir a condição atmosférica com o intuito de fornecer informações sobre o tempo.
Anemometer	Um dispositivo para medir a velocidade do vento.
Wind vane (Wind_vane)	Um dispositivo que mede a direção do vento.
Thermometer	Um dispositivo que mede a temperatura.
Hygrometer	Um dispositivo que mede a umidade relativa.
Barometer	Um instrumento utilizado para medir a pressão atmosférica.
Rain gauge (Rain_gauge)	Um dispositivo que mede a precipitação líquida (chuva) durante um determinado período de tempo.
Solar radiation (Solar_radiation)	Um dispositivo que mede a energia do sol.
Ultraviolet index (Ultraviolet_index)	Um dispositivo que mede a luz ultravioleta (UV) do sol.
Leaf wetness (Leaf_wetness)	Um dispositivo que detecta a presença de umidade na superfície. A umidade é medida em uma escala entre 0 (seco) e 15 (saturado).
Soil moisture (Soil_moisture)	Um dispositivo que mede a quantidade de água contida em um material, tais como o solo em uma base volumétrica ou gravimétrica.
Soil temperature (Soil_temperature)	Um dispositivo que mede a temperatura do solo ou outro meio (na cultura agrícola).
Water temperature (Water_temperature)	Um dispositivo que mede a temperatura da água.
<b>Data Analytics Services (Data_Analytics_Services)</b>	É a prática de utilizar dados para direcionar a estratégia e o desempenho. Essa prática varia em avaliar o que aconteceu no passado, olhando para o planejamento de cenários e modelagem preditiva.
Predictive modelling (Predictive_Modelling)	Prática que utiliza dados do passado para prever resultados.
Risk measurement (Risk_Measurement)	Essa prática é utilizada para minimizar o conjunto de mudanças de fontes de risco.
Weather	Precipitação (chuva) ou variabilidade de temperatura.
Biological (Biological_Risk_Measurement)	Contaminação por pragas e doenças.
Price	Preço e oferta de mercado e volatilidade da demanda.
Labor and health (Labor)	Doença, morte ou ferimento.
Policy and political (Policy)	Mudanças regulamentares, agitação política e interrupção dos mercados.

---

Production models (Production_Models)	A previsão dos rendimentos potenciais.
Time Series (Time_Series)	Método para analisar dados de séries temporais com o intuito de extrair estatísticas significativas.

---

## ANEXO B - LINHA DE PRODUTO DE SOFTWARE SMART STREET LIGHT

Kneer e Kamsties (2016) desenvolveram uma LPS *Smart Street Light* no contexto de cidades inteligentes. A iluminação nas cidades inteligentes possui novos tipos de luzes com sensores e funções para reduzir o consumo de energia e permitir interação com outros sistemas do ecossistema.

A Illuminating Concepts possui uma solução de lâmpadas ou luzes inteligentes chamada *Intellistreets*<sup>39</sup>. Essa solução fornece comunicação sem fio para interação com sistemas nas cidades. Outra solução foi desenvolvida pela Siemens<sup>40</sup>, chamada de *Intelligent Parking (Parking Management)*. Tal solução realiza várias funções como, por exemplo, a detecção de carros estacionados ou em movimento por meio de luzes inteligentes com sensores (Figura 84) (KNEER e KAMSTIES, 2016).



**Figura 84. Soluções das empresas Illumination Concepts (à esquerda) e Siemens (à direita). Adaptado de Kneer e Kamsties (2016).**

Neste contexto, Kneer e Kamsties (2016) criaram um *feature model* para um subsistema chamado *Smart Street Light*. A Figura 85 apresenta o modelo da LPS *Smart Street Light* a partir da sua característica abstrata principal chamada *Street Lamp*. A Figura 85 é relacionada com Tabela 55, que apresenta as restrições especificadas para tal modelo. Na sequência a Tabela 56 apresenta todas as características da LPS *Smart Street Light* conforme Kneer e Kamsties (2016).

<sup>39</sup> Intellistreets Site: <https://www.intellistreets.com/>

<sup>40</sup> *Intelligent Parking Solutions*: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/road/parking-solutions/intelligent-parking-solutions.html>

Tabela 55. Características principais e restrições das variações da LPS *Smart Street Light*. Adaptado de Kneer e Kamsties (2016).

Always On	requires	100
Timed Lighting	requires	Timer
Dynamic	requires	Movement
Light-controlled Lighting	requires	Movement, Twilight
Parking Space Assistant	requires	Communication, Distance, Movement
Highlight Free Spaces	requires	blue, 100
Weather Station	requires	Twilight, Hydro
Ambulance Warning	requires	Communication, red, 100
L ON	requires	100
L DIM	requires	20
L OFF	requires	0
S ON	requires	100
S OFF	requires	0
D ON	requires	100
D DIM	requires	20
D OFF	requires	0

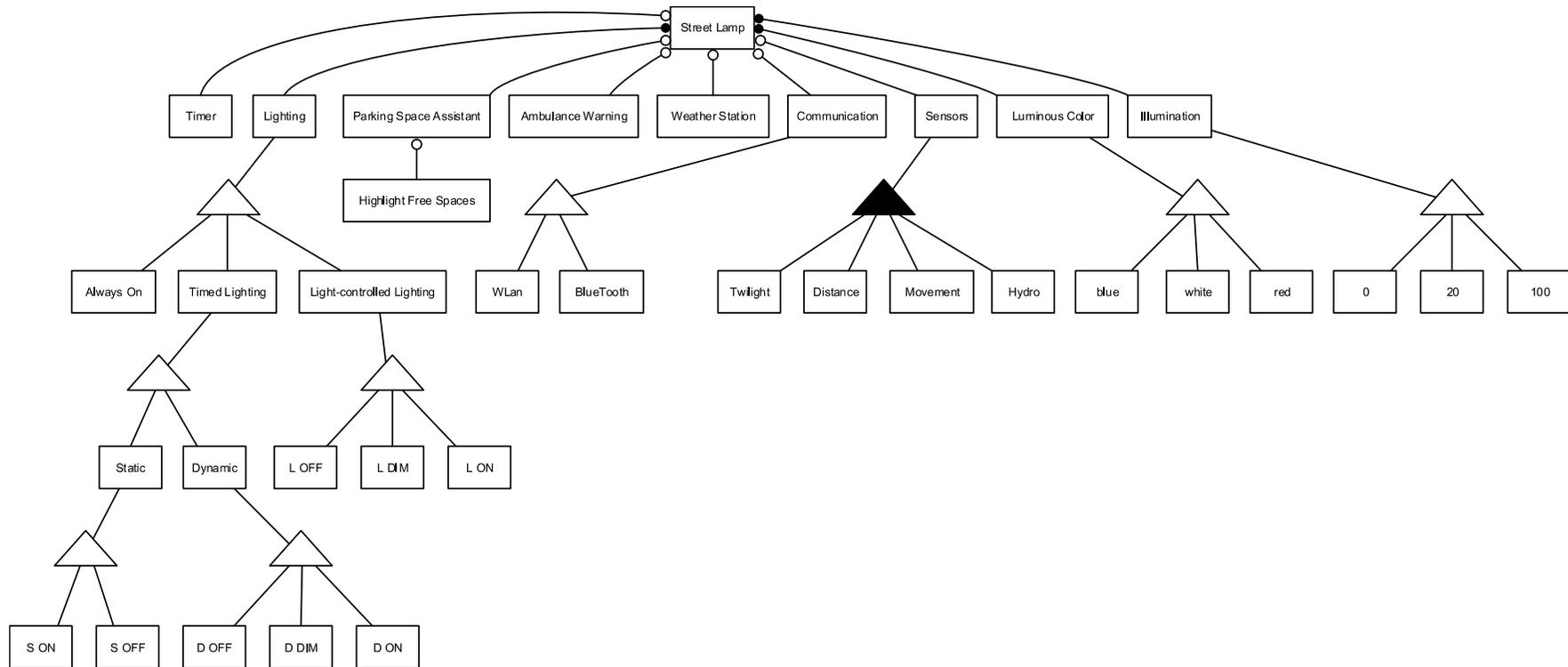


Figura 85. Feature Model da LPS *Smart Street Light*. Adaptado de Kneer e Kamsties (2016).

**Tabela 56. Descrições das características (*features*) da LPS *Smart Street Light*. Traduzido e Adaptado de Kneer e Kamsties (2016).**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>DESCRIÇÕES</b>
<b>Timer</b>	Esta característica corresponde ao temporizador do sistema que auxilia na ativação da luz.
<b>Lighting</b>	Controla e manipula a luz.
Always On (AlwaysOn)	Corresponde a um estado de erro que resulta em uma luz de rua com iluminação máxima (veja as restrições: <i>AlwaysOn requires</i> (requer) 100 (Tabela 55)).
Timed Lighting (TimedLighting)	A luz fica acesa durante um determinado intervalo de tempo. Essa característica precisa de um <i>Timer</i> (temporizador) para reagir e ativar a luz (veja as restrições na Tabela 55). Esta característica pode variar entre os modos <i>Static</i> (Estático) e <i>Dynamic</i> (Dinâmico). O modo <i>Static</i> corresponde a uma iluminação de 100% durante o intervalo e o modo <i>Dynamic</i> reage aos movimentos alternando entre 20% e 100% de iluminação.
Light-controlled Lighting (LightControlled_Lighting)	Esta característica requer um sensor de <i>Movement</i> (movimento) e um sensor de <i>Twilight</i> ( <i>crepúsculo</i> ). Se o sensor <i>Twilight</i> indicar necessidade de luz, a luz é acesa. Como o modo <i>Dynamic</i> da característica <i>TimedLighting</i> , a característica <i>LightControlled_Lighting</i> (luz controlada) reage ao sensor de movimento alternando entre 20% e 100% da iluminação.
<b>Parking Space Assistant (ParkingSpaceAssistant)</b>	Esta característica envia informações sobre os espaços de estacionamento livres sob a luz da rua para sistemas conectados como sistemas de navegação e também destaca espaços livres ( <i>HighlightFreeSpaces</i> ) com uma cor azul luminosa.
Highlight Free Spaces (HighlightFreeSpaces)	Esta característica tem a responsabilidade de destacar espaços livres de estacionamento.
<b>Ambulance Warning (AmbulanceWarning)</b>	Se a lâmpada estiver com uma conexão estabelecida, ela obtém informações sobre ambulâncias que passam na luz da rua. A lâmpada reage e tenta avisar o ambiente, mudando para uma cor vermelha luminosa.
<b>Weather Station (WeatherStation)</b>	Responsável por fornecer informações sobre o tempo (previsão do tempo).
<b>Communication</b>	Esta característica corresponde aos dois tipos de comunicações sem fio disponíveis no sistema: <i>WLan</i> ( <i>wireless</i> ) e <i>BlueTooth</i> .
WLan	Corresponde a comunicação sem fio via a tecnologia <i>Wireless</i> .
BlueTooth	Corresponde a comunicação sem fio via a tecnologia <i>BlueTooth</i> .
<b>Sensors</b>	Sensores de luz da rua.
Twilight	Utilizado para medir a luz.
Distance	Mede se um objeto está sob a luz.
Movement	Reage aos movimentos perto da luz.
Hydro	Fornecer informações sobre o tempo/clima.
<b>Luminous Color (LuminousColor)</b>	Fornecer informações sobre as cores disponíveis da luz (azul, branca e vermelha).
blue	Corresponde a cor azul luminosa da luz.
white	Corresponde a cor branca luminosa da luz.
red	Corresponde a cor vermelha luminosa da luz.
<b>Illumination</b>	Fornecer informações sobre a quantidade de iluminação a ser configurada entre 0%, 20% e 100% de luz.
0 (Percent_0)	Nenhuma quantidade de luz é ativada.
20 (Percent_20)	20% da luz é ativada.
100 (Percent_100)	100% da luz é ativada.

A Figura 86 apresenta o *feature model* e suas restrições adaptado(as) na FeatureIDE com base no *feature model* original da LPS *Smart Street Light*, representado anteriormente na Figura 85.

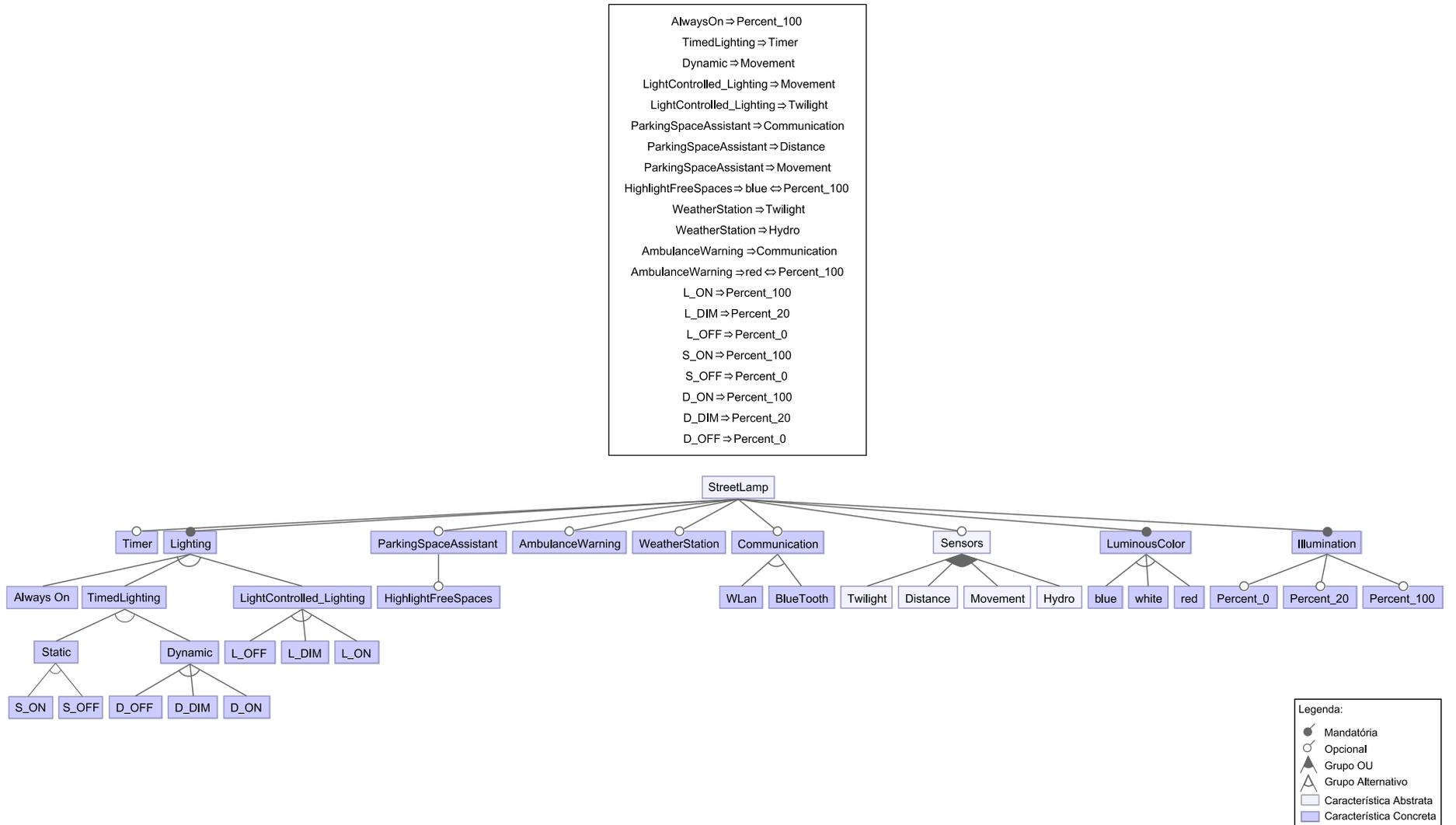


Figura 86. Feature Model da LPS *Smart Street Light* modelado na FeatureIDE. Adaptado da Figura 85.

## ANEXO C - TERMINOLOGIA DE LPS COM BASE NAS ISO/IEC 26550:2015 E ISO/IEC 26560:2019

**Tabela 57. Terminologia de LPS com base na ISO/IEC 26550:2015 (ISO/IEC, 2015).**

<b>TERMOS</b>	<b>DEFINIÇÕES (tradução literal)</b>
1.1 Ativos de Domínio ou Núcleo de Ativos	<i>“Saída dos processos do ciclo de vida da engenharia de domínio e pode ser reutilizado na produção de produtos durante a engenharia de aplicação.”</i>
1.2 Engenharia de Domínio	<i>“Ciclo de vida que consiste em um conjunto de processos para especificar e gerenciar os aspectos comuns e a variáveis de uma linha de produtos.”</i>
1.3 <i>Feature</i> (característica)	<i>“Característica funcional abstrata de um sistema de interesse que os usuários finais e outras partes interessadas (stakeholders) podem entender.”</i>
1.4 Linha de Produtos ou Familia de Produtos	<i>“Conjunto de produtos e/ou serviços que compartilham características comuns e variáveis explicitamente definidas e gerenciadas, confiando na mesma arquitetura de domínio para atender às necessidades comuns e variáveis de mercados específicos.”</i>
1.5 Variabilidade	<i>“Características que podem diferir entre os membros da linha de produtos.”</i>
1.6 Restrição de Variabilidade	<i>“Relações de restrição entre uma variante e um ponto de variação, entre duas variantes e entre dois pontos de variação.”</i>
1.7 Dependência de Variabilidade	<i>“Relação entre um ponto de variação e um conjunto de variantes, o que indica que o ponto de variação implica uma decisão sobre as variantes.”</i>
1.8 Gerenciamento de Variabilidade	<i>“Tarefas administrativas relacionadas à variabilidade e têm duas dimensões: dimensão da variabilidade e dimensão do ativo.”</i> <i>“A variabilidade de linha de produto define como os produtos membros são diferenciados entre si.”</i>
1.9 Modelagem de Variabilidade	<i>“A modelagem de variabilidade suporta a criação e manutenção de modelos de variabilidade detalhados, utilizando informações relacionadas à variabilidade a partir da engenharia de domínio e de aplicação.”</i>
1.10 Mecanismo de Variabilidade	<i>“Mecanismo de variabilidade é um meio para realizar/perceber a variabilidade da linha de produtos.”</i>
1.11 Modelo de Variabilidade	<i>“Definição explícita para variabilidade da linha de produtos.”</i>
1.12 Variante	<i>“Uma alternativa que pode ser utilizada para realizar/resolver pontos de variação específicos.”</i>
1.13 Ponto de Variação	<i>“Representação correspondente a características variáveis específicas de produtos, ativos de domínio e ativos de aplicação no contexto de uma linha de produtos.”</i>

Tabela 58. Terminologia de LPS com base na ISO/IEC 26560:2019 (ISO/IEC, 2019).

TERMOS	DEFINIÇÕES (tradução literal)
2.1 <i>Binding</i> (ligação/vinculação)	“Tarefa de tomar uma decisão sobre variantes relevantes, que serão ativos de aplicação, a partir de ativos de domínio (2.3) utilizando o modelo de variabilidade de domínio (2.7) e de ativos de aplicação utilizando o modelo de variabilidade de aplicação.”
2.2 Similaridade	“Conjunto de características funcionais e não funcionais compartilhadas por todos os aplicativos pertencentes à linha de produtos (2.4).”
2.3 Domínio	“Escopo distinto, dentro do qual as características comuns e variáveis são exibidas, regras comuns e mecanismos de binding (ligação/vinculação) (2.1) são observados, sobre os quais uma distribuição transparente é preservada.”
2.4 Linha de Produtos; Família de Produtos; ou Linha de Produtos de Sistemas e Software	“Conjunto de produtos e/ou serviços que compartilham características comuns e variáveis explicitamente definidas e gerenciadas, confiando na mesma arquitetura de domínio (2.3) para atender às necessidades comuns e variáveis de mercados específicos.”
2.5 <i>Roadmap</i> (roteiro/mapa) do Produto	“Agendar quando os produtos precisam estar prontos para o lançamento no mercado.”
2.6 <i>Roadmap</i> (roteiro/mapa) da Tecnologia	“Esboço/Descrição das mudanças antecipadas e requeridas em tecnologias, com datas esperadas, que permitirão a realização ou transformação de um produto ou família de produtos (2.4).”
2.7 Variabilidade	“Conjunto de características funcionais e não funcionais que podem diferir entre os membros da linha de produtos (2.4).”