

Murilo Gustavo Nabarrete Costa

**Abordagem baseada em Cenários para Extração
de Requisitos de Interoperabilidade de
Sistemas-de-Sistemas a partir de
Processos-de-Processos de Negócio**

Campo Grande, MS

Abril, 2024

Murilo Gustavo Nabarrete Costa

Abordagem baseada em Cenários para Extração de Requisitos de Interoperabilidade de Sistemas-de-Sistemas a partir de Processos-de-Processos de Negócio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Faculdade de Computação, mantido pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para a Defesa de Mestrado, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação (Área de Concentração: Engenharia de Software).

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS

Faculdade de Computação – FACOM

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Istela Cagnin Machado

Campo Grande, MS

Abril, 2024

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder forças e inspiração durante a jornada de desenvolvimento deste mestrado. Sua graça e misericórdia foram fundamentais para minha perseverança, crescimento pessoal e profissional. Expresso minha profunda gratidão à Virgem Maria, pelo título de Nossa Senhora da Conceição Aparecida, pela sua intercessão constante ao longo deste período de estudo e pesquisa, intercedendo em todos os momentos de dificuldades que enfrentei para alcançar os resultados necessários ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço também à minha família, especialmente aos meus pais, Carlos e Márcia, pelo amor incondicional e apoio emocional, fazendo com que meus sonhos se tornem também os sonhos de vocês. Suas orações, conselhos e encorajamentos foram fundamentais para minha realização pessoal e acadêmica. Agradeço também à minha noiva Sthefany, que me encorajou a continuar meus estudos durante o período da pandemia e me acolheu em todos os momentos de dificuldades que enfrentei para a conclusão deste trabalho.

Expresso minha profunda gratidão à minha Orientadora Profa. Dra. Maria Istela, que acompanha meu crescimento acadêmico desde o começo de minha graduação. Agradeço por todos os ensinamentos e orientações que me foram passados, e pela paciência e acolhimento para sempre me mostrar o melhor caminho a ser seguido.

Agradeço igualmente a todas as instituições e pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste estudo, seja através de recursos financeiros, materiais ou apoio técnico. De modo especial, agradeço à Fundect, que proporcionou apoio financeiro para a execução deste trabalho, e aos membros do LEDES que auxiliaram em diversas etapas, especialmente para viabilização da infraestrutura da ferramenta *PoP Modeler*.

Resumo

Contexto: A partir da concepção de novas alianças de organizações que podem ocorrer por meio de parcerias, fusões ou aquisições, é visto um desafio para integrar os processos de negócios de suas organizações-membro com a finalidade de alcançar os objetivos de negócios mais amplos que antes não poderiam ser viabilizados. Essa integração resulta na criação de novos processos de negócio complexos e dinâmicos, conhecidos como Processos-de-Processos de Negócio (PoP). Geralmente, esses processos são automatizados por sistemas de software distintos, que, durante o processo de integração, passam a interoperar entre si para executar funcionalidades mais amplas do que aquelas que poderiam ser executadas por um único sistema de software, resultando assim, na formação de Sistemas-de-Sistemas (SoS). **Problema:** O domínio de SoS apresenta novos desafios para a extração de requisitos, de modo especial, requisitos de interoperabilidade devido às características destes tipos de sistema, como independência gerencial e operacional, bem como a sua arquitetura dinâmica. Os requisitos de interoperabilidade são fundamentais para garantir uma comunicação adequada entre os sistemas constituintes que compõem o SoS. No entanto, os trabalhos encontrados na literatura geralmente fornecem soluções para a extração de requisitos de interoperabilidade em fases mais avançadas do ciclo de vida do SoS, como a fase de projeto arquitetural. Esses trabalhos também tendem a não considerar as informações contidas em nível de negócio como fonte de informação para a extração dos requisitos, uma vez que são essenciais para uma compreensão adequada da interoperabilidade e para garantir alinhamento com o nível técnico. **Objetivo:** A principal contribuição deste trabalho de mestrado é propor uma abordagem baseada em cenários na notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) para a extração sistemática de requisitos de interoperabilidade. Modelos que representam PoP foram utilizados como fonte de informação. A abordagem inclui um metamodelo, que contém classes para representar a interoperabilidade entre os processos de negócio do PoP utilizando elementos da notação BPMN, e um conjunto de diretrizes para a extração sistemática e automatizada de requisitos de interoperabilidade com base em classes desse metamodelo. **Método de pesquisa:** O trabalho foi conduzido utilizando o método de pesquisa *Design Science Research*, resultando na produção dos seguintes artefatos: seis cenários abstratos, uma variante dos cenários abstratos, um metamodelo e um conjunto de diretrizes para extração de requisitos de interoperabilidade de SoS. **Resultado:** Abordagem automatizada para a extração e especificação de requisitos de interoperabilidade durante a Engenharia de Requisitos de SoS. Essa abordagem utiliza modelos do PoP em conformidade com cenários abstratos de interoperabilidade definidos neste trabalho que visam mitigar os desafios existentes ao realizar o tratamento adequado do dinamismo da interoperabilidade entre os processos do PoP e, conseqüentemente, entre os constituintes do SoS. Com isso, a abordagem garante alinhamento entre os níveis de negócio e técnico, contribuindo diretamente para o alcance de seus objetivos estratégicos de negócio.

Palavras-chaves: Sistema-de-Sistemas, Interoperabilidade, Requisito Não Funcional, Engenharia de Requisitos, Processo de Negócio

Abstract

Context: From the conception of new organizational alliances that may occur through partnerships, mergers, or acquisitions, a challenge arises in integrating the business processes of their member organizations to achieve broader business goals that could not previously be realized. This integration results in the creation of new complex and dynamic business processes, known as Process-of-Business Processes (PoP). Typically, these processes are automated by distinct software systems, which during the integration process, they begin to interoperate to perform functionalities broader than those that could be executed by a single software system, resulting in the formation of Systems-of-Systems (SoS). **Problem:** The SoS domain presents new challenges for requirement extraction, especially interoperability requirements, due to the characteristics of these types of systems, such as managerial and operational independence, as well as their dynamic architecture. Interoperability requirements are crucial to ensuring adequate communication among the constituent systems composing the SoS. However, works found in the literature generally provide solutions for extracting interoperability requirements in more advanced phases of the SoS lifecycle, such as the architectural design phase. These works also tend to overlook business-level information as a source for requirement extraction, despite its essential role in ensuring a proper understanding of interoperability and alignment with the technical level. **Objective:** The main contribution of this master's thesis is to propose an approach based on scenarios in the BPMN (Business Process Model and Notation) notation for systematic extraction of interoperability requirements. Models representing PoP were used as information source. The approach includes a metamodel, containing classes to represent interoperability among the business processes of the PoP using BPMN elements, and a set of guidelines for systematic and automatic extraction of interoperability requirements based on classes from this metamodel. **Research Method:** The work was conducted using the Design Science Research method, resulting in the production of the following artifacts: six abstract scenarios, a variant of these abstract scenarios, a metamodel, and a set of guidelines for extracting SoS interoperability requirements. **Result:** An automated approach for extracting and specifying interoperability requirements during SoS Requirements Engineering. This approach uses PoP models that conform to the interoperability abstract scenarios defined in this work, aiming to mitigate existing challenges when handling the dynamism of interoperability among PoP processes and, consequently, among SoS constituents. Therefore, the approach ensures the alignment between business and technical levels, directly contributing to obtaining their strategic business goals.

Keywords: System-of-Systems, Interoperability, Non-functional Requirement, Requirements Engineering, Business Process

Lista de ilustrações

Figura 1 – Relação entre PoP e SoS	23
Figura 2 – Artefatos construídos no trabalho e fontes de informação	28
Figura 3 – Estrutura Conceitual da DSR instanciada para a proposta de mestrado (adaptado de Hevner e Chatterjee (2010))	29
Figura 4 – Representação da Taxonomia de SoS (adaptado de Lane e Epstein (2013))	36
Figura 5 – Visão geral de um PoP (adaptado de Cagnin e Nakagawa (2021))	46
Figura 6 – Metamodelo do PoP (adaptado de Cagnin e Nakagawa (2021))	47
Figura 7 – Visões do PoP abstrato e seus respectivos modelos (adaptado de Cagnin e Nakagawa (2022a))	48
Figura 8 – Modelo Detalhado da Missão “Viabilizar a venda de produtos de di- versos fornecedores para todas regiões da América Latina” do PoP comércio virtual	51
Figura 9 – Diagrama de classes da ferramenta <i>PoP Modeler</i> (adaptado de (MAT- TIA, 2021))	52
Figura 10 – Visualização do Modelo Detalhado de Missão de um cenário concreto de interoperabilidade na ferramenta <i>PoP Modeler</i>	53
Figura 11 – Visão geral dos estudos primários	55
Figura 12 – Visão ilustrada dos constituintes e seus relacionamentos - SoS Inte- gração lavoura-pecuária-floresta (SPERANZA; VISOLI; CARROMEU, 2022)	65
Figura 13 – Modelo de processo de negócio do constituinte <i>BallPass</i>	66
Figura 14 – Modelo de processo de negócio do constituinte BEP	67
Figura 15 – Modelo de processo de negócio do constituinte da Estação ECOD3 . . .	67
Figura 16 – Modelo de processo de negócio do constituinte Dojot	68
Figura 17 – Modelo de processo de negócio do aplicativo mobile	69
Figura 18 – Modelo detalhado da missão “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal” do PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta	70
Figura 19 – Modelo geral do PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta	71
Figura 20 – Cenário Abstrato inicial - Vários envios e vários recebimentos, adaptado de Weske (2019)	73
Figura 21 – Cenário Abstrato inicial - Vários envios e uma resposta para cada cons- tituinte, adaptado de Weske (2019)	74

Figura 22 – Cenário Abstrato inicial - Requisições Contingentes, adaptado de Weske (2019)	74
Figura 23 – Cenário Abstrato inicial - Múltiplas respostas, adaptado de Weske (2019)	76
Figura 24 – Cenário Abstrato inicial - Corrida de requisições recebidas, adaptado de Weske (2019)	76
Figura 25 – Cenário Abstrato inicial - Requisição com referência, adaptado de Weske (2019)	77
Figura 26 – Variante dos cenários abstratos de interoperabilidade - Contratos de interoperabilidade no envio e recebimento de requisição	78
Figura 27 – Caracterização do perfil dos especialistas	81
Figura 28 – Domínio da notação BPMN pelos especialistas	81
Figura 29 – Resultado da avaliação dos cenários abstratos pelos especialistas	82
Figura 30 – Cenário Abstrato Refinado - Vários envios e vários recebimentos, adaptado de (WESKE, 2019)	83
Figura 31 – Cenário Abstrato Refinado - Múltiplas Respostas, adaptado de (WESKE, 2019)	83
Figura 32 – Cenário Abstrato Refinado - Corrida de requisições recebidas, adaptado de (WESKE, 2019)	84
Figura 33 – Cenário Abstrato Refinado - Requisições Contingentes, adaptado de (WESKE, 2019)	84
Figura 34 – Cenário Abstrato Refinado - Vários envios e uma resposta para cada constituinte, adaptado de (WESKE, 2019)	85
Figura 35 – Cenário Abstrato Refinado - Requisição com referência, adaptado de (WESKE, 2019)	86
Figura 36 – Variante dos cenários abstratos de interoperabilidade refinada - Contratos de interoperabilidade no envio e recebimento de requisição	86
Figura 37 – Síntese da principal contribuição durante o refinamento dos cenários abstratos	87
Figura 38 – Elementos BPMN identificados para representação da interoperabilidade em PoP	89
Figura 39 – Metamodelo do PoP Estendido com elementos BPMN utilizados para representar interoperabilidade	91
Figura 40 – Tarefas (<i>task</i>) utilizadas para representar interoperabilidade em PoP	92
Figura 41 – Eventos (<i>event</i>) utilizados para representar interoperabilidade em PoP	92
Figura 42 – Desvios (<i>gateway</i>) utilizados para representar interoperabilidade em PoP	93
Figura 43 – Objetos (<i>object</i>) utilizados para representar interoperabilidade em PoP	94
Figura 44 – Algoritmo para extração de requisitos de interoperabilidade a partir de modelos do PoP	104

Figura 45	–Indicação do fluxo de mensagem para extração do requisito de interoperabilidade - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	112
Figura 46	–Indicação do fluxo de mensagem para extração do requisito de interoperabilidade - ID 03 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	112
Figura 47	–Indicação do fluxo de mensagem para extração do requisito de interoperabilidade - ID 15 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	115
Figura 48	–Indicação do fluxo de mensagem para extração do requisito de interoperabilidade - ID 18 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	116
Figura 49	–Módulo da ferramenta <i>PoP Modeler</i> para a Modelagem do Modelo Detalhado de Missão	121
Figura 50	–Módulo da ferramenta <i>PoP Modeler</i> para Gerenciamento de PoP . . .	122
Figura 51	–Módulo da ferramenta <i>PoP Modeler</i> para Extração dos Requisitos de Interoperabilidade de SoS correspondente à missão do PoP selecionada	123
Figura 52	–Condução do Mapeamento Sistemático	153
Figura 53	–Modelo detalhado da Missão “Oferecer autenticação única para usuários em todos os sistemas da UFMS com as mesmas credenciais” do PoP Autenticação de usuários unificada	158
Figura 54	–Modelo detalhado da Missão “Inserção de trabalhos intelectuais de Acadêmicos e Servidores da UFMS em um repositório central da instituição” do PoP Repositório Institucional da UFMS	159

Lista de tabelas

Tabela 1 – Elementos de interesse do BPMN	41
Tabela 2 – Padrões de interação de serviços (adaptado de Weske (2019))	42
Tabela 3 – Lista dos estudos primários	56
Tabela 4 – Fases do ciclo de vida do SoS em que os requisitos de interoperabilidade são extraídos e especificados	57
Tabela 5 – Mecanismos e fontes de informação utilizados nos estudos primários	59
Tabela 6 – Técnicas utilizadas para especificação dos requisitos de interoperabilidade	61
Tabela 7 – Visão geral dos cenários abstratos e suas principais contribuições	72
Tabela 8 – Elementos BPMN utilizados para representar a interoperabilidade em PoP de acordo com a especificação da OMG (2014a)	90
Tabela 9 – Resultado da análise de elementos BPMN da origem da mensagem	98
Tabela 10 – Resultado da análise de elementos BPMN do destino da mensagem	99
Tabela 11 – Campos para especificar requisitos de interoperabilidade de SoS	100
Tabela 12 – Formato detalhado para a especificação do requisito de interoperabilidade de SoS	101
Tabela 13 – Elementos BPMN utilizados na extração dos requisitos	102
Tabela 14 – Formato compacto para a especificação do requisito de interoperabilidade de SoS	104
Tabela 15 – Rastreabilidade dos requisitos extraídos	107
Tabela 16 – Requisito de Interoperabilidade detalhado extraído manualmente - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	108
Tabela 17 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	109
Tabela 18 – Requisito de Interoperabilidade extraído manualmente - ID 03 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	110
Tabela 19 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 03 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	112
Tabela 20 – Requisito de Interoperabilidade extraído manualmente - ID 15 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	113

Tabela 21	–Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 15 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	115
Tabela 22	–Requisito de Interoperabilidade extraído manualmente - ID 18 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	116
Tabela 23	–Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 18 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	118
Tabela 24	–Comparativo entre as especificações do requisito de interoperabilidade - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	124
Tabela 25	–Comparativo entre as especificações do requisito de interoperabilidade - ID 03 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	125
Tabela 26	–Comparativo entre as especificações do requisito de interoperabilidade - ID 15 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	127
Tabela 27	–Comparativo entre as especificações do requisito de interoperabilidade - ID 18 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	128
Tabela 28	–Critérios de Inclusão	152
Tabela 29	–Critérios de Exclusão	152
Tabela 30	– <i>String</i> padrão adaptada para ACM Digital Library	155
Tabela 31	– <i>String</i> padrão adaptada para IEEE Xplore	155
Tabela 32	– <i>String</i> padrão adaptada para Scopus	156
Tabela 33	–Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 02 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	167
Tabela 34	–Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	168
Tabela 35	–Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 05 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	168
Tabela 36	–Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 06 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	169

Tabela 37 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 07 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	169
Tabela 38 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 08 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	170
Tabela 39 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 09 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	170
Tabela 40 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 10 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	171
Tabela 41 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 11 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	171
Tabela 42 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 12 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	172
Tabela 43 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 13 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	172
Tabela 44 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 14 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	173
Tabela 45 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 16 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	173
Tabela 46 –Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 17 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal	174

Sumário

1	Introdução	21
1.1	Contextualização	21
1.2	Motivação e Justificativa	24
1.3	Questão de Pesquisa e Objetivos	25
1.4	Método de Pesquisa	26
1.5	Organização da Escrita	30
2	Embasamento Teórico	33
2.1	Considerações Iniciais	33
2.2	Alianças de organizações	33
2.3	Sistemas-de-Sistemas	34
2.3.1	Interoperabilidade	36
2.3.2	Engenharia de Requisitos	37
2.4	Modelagem de Processos de Negócio	39
2.4.1	Coreografia de Processos de Negócio	40
2.5	Processos-de-Processos de Negócio	44
2.5.1	Modelos do PoP	47
2.5.2	Exemplo de PoP	49
2.5.3	Ferramenta de apoio a modelagem de PoP	50
2.6	Considerações Finais	53
3	Trabalhos Relacionados	55
3.1	Considerações Iniciais	55
3.2	Caracterização dos trabalhos	55
3.3	Tipos e elementos para interoperabilidade	56
3.4	Fases do ciclo de vida do SoS	57
3.5	Mecanismos para elicitação de requisitos de interoperabilidade de SoS	58
3.6	Técnicas para especificação de requisitos de interoperabilidade de SoS	60
3.7	Avaliação dos mecanismos de elicitação e avaliação dos requisitos de interoperabilidade de SoS	61
3.8	Discussões	61
3.9	Considerações Finais	62
4	Cenários Abstratos de Interoperabilidade em PoP	63
4.1	Considerações Iniciais	63
4.2	Cenários Concretos	63

4.2.1	Cenário concreto: PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta . . .	64
4.3	Cenários Abstratos	70
4.3.1	Vários envios e vários recebimentos	72
4.3.2	Vários envios e uma resposta para cada constituinte	73
4.3.3	Requisições contingentes	74
4.3.4	Múltiplas respostas	75
4.3.5	Corrida de requisições recebidas	75
4.3.6	Requisição com referência	77
4.3.7	Variante: Contratos de interoperabilidade no envio e recebimento de requisição	78
4.4	Avaliação dos Cenários Abstratos	79
4.4.1	Planejamento e Piloto	79
4.4.2	Execução	80
4.4.3	Caracterização dos especialistas	80
4.4.4	Resultados e refinamento dos cenários abstratos	82
4.4.5	Ameaças à validade	87
4.4.6	Contribuições dos cenários abstratos	87
4.4.7	Elementos BPMN identificados a partir dos cenários abstratos . . .	88
4.5	Extensão do Metamodelo do PoP	89
4.6	Considerações Finais	94
5	Extração de Requisitos de Interoperabilidade de SoS a partir de PoP	97
5.1	Considerações Iniciais	97
5.2	Estabelecimento das diretrizes	97
5.3	Estudo de caso: Aplicação das diretrizes em um PoP Real	106
5.3.1	Ameaças à validade	118
5.4	Prova de conceito: Ferramenta de Extração de Requisitos de Interoperabilidade baseada em PoP	119
5.4.1	Requisitos Funcionais	120
5.4.2	Interface de Usuário e Usabilidade	120
5.4.3	Validação e Discussão	122
5.4.4	Ameaças à validade	131
5.5	Considerações Finais	132
6	Conclusão	133
6.1	Considerações Iniciais	133
6.2	Contribuições	133
6.3	Desafios e Limitações	136
6.4	Trabalhos Futuros	137

Referências	139
Apêndices	147
APÊNDICE A Planejamento e Condução do Mapeamento Sistemático . . .	149
A.1 Planejamento	149
A.1.1 Ameaças à validade	152
A.2 Condução	153
APÊNDICE B Adaptações na String de Busca Padrão	155
APÊNDICE C Cenários Concretos de Interoperabilidade em PoP	157
C.1 PoP - Autenticação de usuários unificada	157
C.2 PoP - Repositório Institucional da UFMS	158
APÊNDICE D Formulário para Validação dos cenários abstratos	161
D.1 Apresentação do formulário	161
D.2 Perguntas para avaliação dos cenários abstratos e caracterização dos pesquisadores	163
APÊNDICE E Requisitos de Interoperabilidade PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta	167
APÊNDICE F Formulário para Validação da ferramenta PoP-IRE	175
F.1 Apresentação do questionário	175
F.2 Perguntas para avaliação da ferramenta PoP-IRE	176

1 Introdução

1.1 Contextualização

Atualmente, grandes organizações estão buscando ampliar seus objetivos de negócio por meio de novas parcerias, fusões ou aquisições de outras organizações, formando assim alianças de organizações, sejam elas do mesmo tipo ou distintas, com o propósito de alcançar vantagens econômicas, competitivas e objetivos de negócios mais amplos (KUMAR; SHARMA, 2019). Para isso, é necessário integrar os sistemas de software que pertencem a cada organização dessa aliança. Esses sistemas interoperam entre si, formando novos sistemas integrados denominados Sistemas-de-Sistemas (SoS) (MAIER, 1998; LANE; EPSTEIN, 2013). Entretanto, para realizar a interoperação desses sistemas constituintes, é necessário compreender adequadamente como, quando e por que a troca de mensagens deve ser realizada entre eles.

SoS possuem características peculiares quando comparados a outros tipos de sistemas de software complexos. Embora não exista uma definição amplamente aceita para SoS, Maier (1998) diferencia essa classe de sistemas como um conjunto de sistemas constituintes que são gerencialmente e operacionalmente independentes, podendo estar separados geograficamente ou virtualmente, e evoluindo sua arquitetura de forma dinâmica. Cada sistema constituinte da aliança possui seus próprios objetivos de negócio e, ao interagir com outros constituintes, contribui para a obtenção de comportamentos emergentes (MAIER, 1998). Esses comportamentos são fundamentais para o alcance das missões do SoS, as quais correspondem a funcionalidades mais complexas que não poderiam ser realizadas pelos sistemas constituintes de forma individual (SILVA et al., 2014).

Sob essa perspectiva, com a finalidade de agregar valor aos produtos e serviços da aliança para atingir um significativo crescimento comercial (ASUNCION; SINDEREN, 2010), as organizações estão buscando explorar a interoperabilidade entre os sistemas constituintes de um SoS. Todavia, a interoperabilidade no contexto de SoS ainda é um desafio, pois esses sistemas não foram desenvolvidos inicialmente para interoperar de modo adequado com outros constituintes. Eles são autogerenciáveis e possuem seus próprios objetivos de negócio, o que pode ocasionar conflitos durante essa integração, seja tecnológico ou de formato das mensagens e dados trocados (NCUBE; LIM, 2018).

Em paralelo, os processos de negócio das organizações que pertencem às alianças precisam trabalhar em conjunto, o que resulta em processos grandes, complexos e dinâmicos. Isso se deve à existência de processos redundantes ou conflitantes e à possibilidade das organizações-membro integrarem ou deixarem de fazer parte das alianças a qualquer

momento. Esses processos complexos e dinâmicos, denominados Processos-de-Processos de Negócio (Processes-of-Business Processes - PoP) (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021), são automatizados pelos sistemas de software que pertencem aos membros da aliança e normalmente fazem parte de um SoS.

Diante disso, percebe-se que a interoperabilidade é uma característica essencial para a composição do PoP. Portanto, é primordial definir de modo claro como é realizada a comunicação entre os diversos processos constituintes do PoP e entre os sistemas constituintes do SoS, os quais funcionam de forma síncrona e independente, para alcançar os objetivos estratégicos das alianças.

Por outro lado, o dinamismo do PoP difere significativamente do dinamismo dos processos de negócio tradicionais. Isso se deve ao fato de que os processos de negócio das organizações que fazem parte de alianças originadas por meio de parcerias podem se juntar ou deixar de fazer parte do PoP a qualquer momento. Salienta-se que esse dinamismo também pode ocorrer em alianças de organizações formadas por meio de aquisições ou fusões quando ocorre parcerias futuras com outras organizações ou até mesmo quando há mudanças em suas missões devido a fatores externos (como, mudanças de leis, demandas de mercado e falta de matéria-prima) ou fatores internos (por exemplo, reestruturação de setores, alcance de novos nichos de mercado e disponibilidade dos sistemas constituintes).

Além disso, os sistemas constituintes que automatizam o PoP podem ser alterados, removidos ou inseridos no SoS em tempo de execução. Esse dinamismo pode ser motivado por mudanças das missões e dos objetivos estratégicos da aliança ou por questões tecnológicas e de evolução dos sistemas de software envolvidos no SoS. Essas mudanças podem afetar diretamente os processos de negócios das organizações que estão trabalhando em conjunto, conseqüentemente provocando um efeito cascata no PoP (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021).

Ao analisar a Figura 1, observa-se a representação da comunicação entre sistemas constituintes de um SoS com outros sistemas constituintes, inclusive com outros SoS, tanto de modo intraorganizacional quanto interorganizacional. Essas comunicações, que podem ocorrer de maneira dinâmica, refletem a interoperabilidade necessária para a automação de um ou mais PoP, cujos processos constituintes também devem se comunicar entre si.

Por isso, para uma definição adequada da interoperabilidade entre os sistemas constituintes dos SoS, é necessário analisar os processos de negócio que compõem os PoP de uma aliança de organizações, uma vez que possuem informações essenciais para o detalhamento da interoperabilidade: (i) todos os envolvidos na comunicação, (ii) os dados que devem ser trocados, (iii) a intenção de uso, (iv) os momentos das trocas de mensagem e (v) as restrições entre os processos constituintes que auxiliam no tratamento adequado do dinamismo dos SoS.

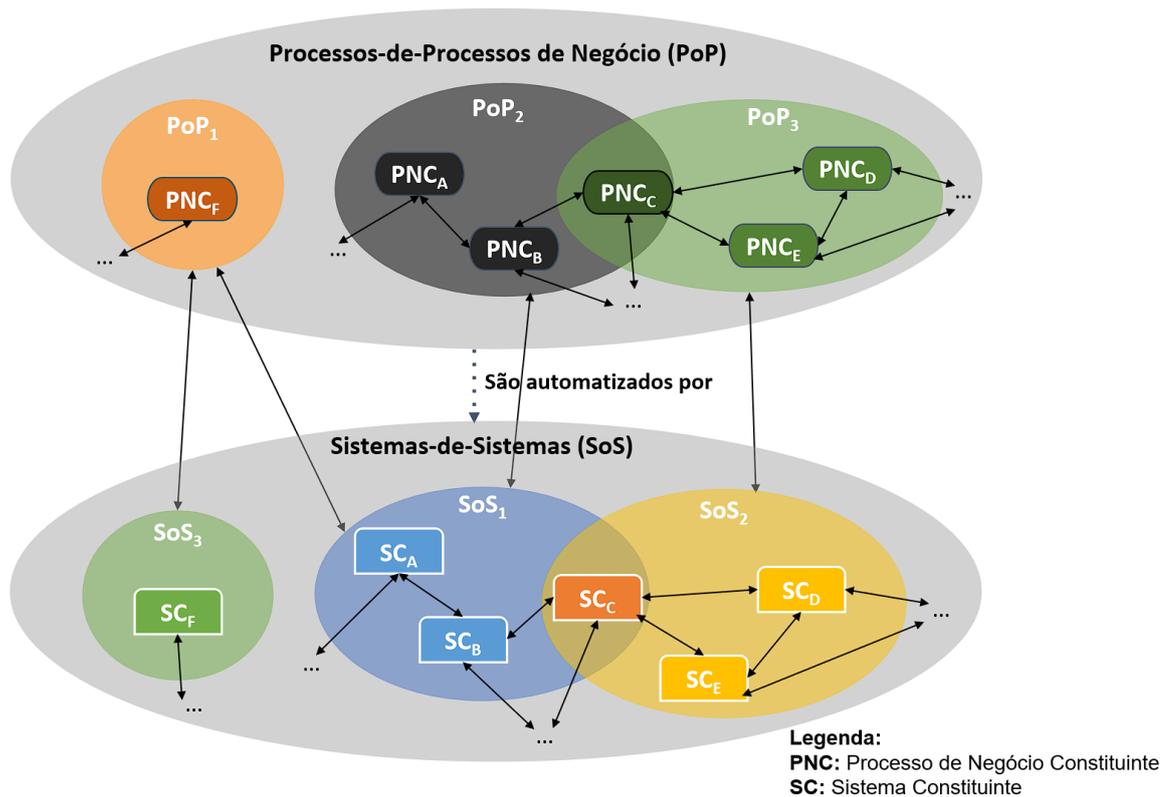


Figura 1 – Relação entre PoP e SoS

Assim, observa-se que é imprescindível entender como os processos de negócio das organizações se comunicam adequadamente para que as atividades de negócios distribuídas geograficamente ou virtualmente entre as organizações sejam executadas corretamente, visando alcançar os objetivos estratégicos das alianças de organizações. Esse entendimento pode ajudar a estabelecer o momento e a forma mais adequada dos sistemas constituintes interoperarem entre si, visando alcançar a interoperabilidade tanto em nível de negócio quanto em nível técnico.

Particularmente, a interoperabilidade envolve não apenas a especificação da sintaxe e da semântica das mensagens trocadas, mas também a compreensão da intenção de uso, visando garantir a compatibilidade entre o efeito pretendido e o efeito real das trocas de mensagens. Portanto, soluções de negócio e técnicas que não se baseiam em um entendimento comum de interoperabilidade podem levar a resultados incompatíveis (ASUNCION; SINDEREN, 2010), dificultando o alcance dos objetivos estratégicos pretendidos pelas alianças de organizações. Assim, é fundamental realizar o tratamento adequado dos requisitos de interoperabilidade do SoS ao longo de seu ciclo de vida, desde a elicitação até o controle de mudanças, visto que são primordiais para garantir que as missões do SoS e, conseqüentemente, os objetivos de negócio das alianças de organizações sejam alcançados.

Com efeito, a Engenharia de Requisitos de SoS enfrenta diversos desafios, principalmente devido às características inerentes a esse tipo de sistema. Os sistemas constituintes

podem interoperar dinamicamente com os constituintes de um ou mais SoS de forma separada ou simultânea, além de possuírem ciclos de vida distintos e pertencerem a domínios diferentes (LEWIS et al., 2009; NCUBE; LIM, 2018). Diante disso, o processo de Engenharia de Requisitos de SoS é significativamente distinto do processo de Engenharia de Requisitos de sistemas únicos, tornando essencial a adaptação de métodos e técnicas existentes ou a criação de novas técnicas para o contexto de SoS (NCUBE; LIM, 2018).

Assim, diante da importância do entendimento dos processos de negócio das organizações que compõem uma aliança (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021) e da interoperabilidade adequada entre os constituintes para que as missões do SoS sejam cumpridas, torna-se fundamental compreender a forma como os processos constituintes do PoP devem interoperar. Além disso, é essencial entender os processos de negócio conflitantes e/ou redundantes automatizados pelo SoS. Todo esse conhecimento pode ser uma fonte de informação útil para extrair requisitos de interoperabilidade do SoS de maneira mais precisa e alinhada ao negócio das alianças.

1.2 Motivação e Justificativa

Durante a formação das alianças de organizações, falhas podem ocorrer devido a diversos fatores, como a dificuldade para unir vários processos de negócio distintos, choque de culturas corporativas e problemas no estabelecimento da comunicação entre os sistemas constituintes (KUMAR; SHARMA, 2019). Além disso, a interoperabilidade dos sistemas constituintes das organizações envolvidas na aliança traz um desafio elevado, principalmente quando esses sistemas precisam se tornar parte de sistemas complexos como o SoS (DERSIN, 2014).

Nesse contexto, de acordo com Romeder (2017), as falhas na integração de sistemas constituintes durante um processo de fusão ou aquisição são estimadas em 70% e 90%, respectivamente. Um dos principais motivos apontados pelo autor é a falha na comunicação entre esses sistemas para realizar trocas de mensagens.

Em paralelo, modelos de processos de negócio estão sendo estudados como fonte de informação para extrair requisitos não funcionais de modo geral de sistemas de software únicos (CARDOSO; ALMEIDA; GUIZZARDI, 2009; NOGUEIRA; OLIVEIRA, 2017), enquanto outros autores tratam da identificação de requisitos não funcionais específicos, como requisitos de segurança e de confiabilidade (MOHAMMADI; HEISEL, 2016). Também é observado o uso de modelos de processos de negócio para extração de informações com o intuito de elaborar modelo arquitetural (OLIVEIRA; VASCONCELOS; SANTOS, 2022; OLIVEIRA et al., 2022) e especificação de missões (GRACIANO-NETO et al., 2017) no contexto de SoS.

O uso de modelo de processos de negócio como fonte de informação para a extração

de requisitos de software pode ser justificado pelos vários benefícios que oferece, como: (i) melhoria da interação entre analistas de sistema, analistas de negócios e usuários finais (VARA; SÁNCHEZ; PASTOR, 2008; VARA et al., 2009); (ii) melhor entendimento do ambiente organizacional no qual o sistema de software será utilizado para garantir o alinhamento dos requisitos às necessidades reais do negócio (VARA et al., 2009; VARA; SÁNCHEZ; PASTOR, 2008; AHMED; MATULEVIČIUS, 2014a; PRZYBYLEK, 2014); (iii) suporte para a produção de especificações de requisitos mais precisas (INDULSKA et al., 2009); e (iv) agilidade no processo de Engenharia de Requisitos (TURKMAN; TAWHEEL, 2020).

Apesar dos benefícios oferecidos pelos modelos de processos de negócios, particularmente o alinhamento entre os níveis de negócio e técnico que é fundamental no contexto de interoperabilidade, é notada uma falta de estudos na literatura que utilizam essa fonte de informação para extração requisitos de interoperabilidade do SoS (COSTA; PAIVA; CAGNIN, 2022).

Além disso, apesar da importância da Engenharia de Requisitos ao longo do ciclo de vida do SoS, a maioria dos estudos encontrados trata os requisitos de interoperabilidade durante o projeto arquitetural (LANE, 2014; MORDECAI; ORHOF; DORI, 2016; SEO; PARK; LEE, 2017; MORDECAI; DORI, 2013; BAGDATLI et al., 2010; GIACHETTI; WANGERT; ELDRED, 2019) e se concentra apenas na elicitação (MORDECAI; ORHOF; DORI, 2016; WYATT, 2014; MORDECAI; DORI, 2013; GIACHETTI; WANGERT; ELDRED, 2019) e especificação (LANE, 2014; SEO; PARK; LEE, 2017; MORDECAI; DORI, 2013; BAGDATLI et al., 2010; BENALI; SAOUD; AHMED, 2014) desse tipo de requisito.

Portanto, observa-se que há carência de estudos que extraem sistematicamente requisitos de interoperabilidade ao longo do ciclo de vida do SoS a partir das informações presentes em artefatos do nível de negócio, em particular, modelos de processos de negócio complexos e dinâmicos como o PoP.

1.3 Questão de Pesquisa e Objetivos

Considerando as carências e os desafios apontados nas seções anteriores, é importante e urgente investigar a elicitação sistemática de requisitos de interoperabilidade de SoS a partir do nível do negócio e durante a Engenharia de Requisitos. Isso facilitará o cumprimento das missões do SoS e, conseqüentemente, o alcance dos objetivos estratégicos das alianças de organizações.

Como consequência, isso impactará diretamente no ciclo de vida do SoS e no apoio às suas equipes de desenvolvimento, pois auxiliará os desenvolvedores a compreenderem a forma correta dos sistemas constituintes realizarem trocas de informações necessárias para o alcance das missões do PoP e, conseqüentemente, as missões do SoS. Com isso, será

possível estabelecer uma padronização adequada para o formato das mensagens trocadas, considerando as restrições entre os constituintes e o dinamismo dos mesmos em tempo de execução. Além disso, auxiliará na definição do meio de transmissão das mensagens, uma vez que os constituintes podem estar distribuídos geograficamente.

Sob essa perspectiva, foi definida a seguinte questão de pesquisa para este trabalho de mestrado: *Como facilitar a extração sistemática de requisitos de interoperabilidade no contexto de SoS alinhados ao negócio de alianças de organizações?*

Com o intuito de responder a questão de pesquisa mencionada, o objetivo geral deste trabalho é propor uma abordagem para facilitar a elicitacão sistemática de requisitos de interoperabilidade de SoS a partir de informações relevantes sobre a comunicação entre processos constituintes que constituem o PoP, visando obter o alinhamento dos níveis técnico e de negócio.

Para alcançar o objetivo geral, é necessário trilhar os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar os elementos da notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) (OMG, 2014a), adotada para modelar o PoP (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021), mais apropriados para representar o dinamismo da interoperabilidade entre processos que constituem um PoP;
2. Facilitar a extração sistemática de requisitos de interoperabilidade do SoS durante a Engenharia de Requisitos, utilizando informações do nível de negócio identificadas no item anterior; e
3. Garantir que os requisitos de interoperabilidade extraídos sejam completos e alinhados ao negócio com o objetivo de alcançar os objetivos de negócio das alianças de organizações.

1.4 Método de Pesquisa

Para o desenvolvimento deste projeto utilizou-se uma abordagem metodológica qualitativa e exploratória baseada na metodologia *Design Science Research* (DSR) (HEVNER et al., 2004). DSR tem como principais características o desenvolvimento de artefatos e de conhecimento técnico-científico. Para isso, estabelece um conjunto de sete orientações para auxiliar no desenvolvimento da pesquisa.

1. **Design como um artefato:** Este projeto de pesquisa propõe o desenvolvimento de três artefatos: um metamodelo estendido do PoP, um conjunto de diretrizes de extração de requisitos de interoperabilidade de SoS e cenários abstratos de interoperabilidade, conforme exibido na Figura 2. Foram realizados refinamentos e aprimoramentos nos artefatos quando necessário para garantir a representação adequada

da interoperabilidade entre os processos constituintes do PoP e para o uso adequado das diretrizes, permitindo a extração precisa dos requisitos de interoperabilidade do SoS a partir de modelos do PoP.

2. **Relevância do problema:** Não foi encontrada na literatura uma abordagem para extrair e especificar requisitos de interoperabilidade no contexto de SoS que utilize modelos de processos de negócio complexos e dinâmicos como fonte de dados, visando garantir o alinhamento entre os níveis de negócio e técnico, e que trate adequadamente o dinamismo que ocorre no SoS.
3. **Avaliação do projeto:** O tipo de avaliação utilizada neste trabalho está de acordo com as características dos artefatos produzidos. Os cenários abstratos foram avaliados por especialistas em BPMN por meio de um questionário elaborado especificamente para isso, cujo objetivo foi avaliar a adequabilidade dos elementos BPMN utilizados da representar a interoperabilidade dinâmica de PoP. Salienta-se que a avaliação do metamodelo estendido foi realizada de maneira indireta pela análise dos elementos BPMN dos cenários abstratos por especialistas em BPMN. As diretrizes de extração propostas foram avaliadas por meio de uma prova de conceito. Para isso, foi construída a ferramenta PoP-IRE como um módulo da ferramenta de gerenciamento e modelagem de PoP (denominada, *PoP Modeler*), que foi desenvolvida no âmbito de um projeto de Iniciação Científica (MATTIA, 2021) e de um Trabalho de Conclusão de Curso (FRANCO; MATTIA, 2023). Basicamente, a construção da PoP-IRE consiste em implementar o algoritmo das diretrizes de extração. Esse módulo foi utilizado por um engenheiro de SoS, selecionado por conveniência, para a extração sistematizada de requisitos de interoperabilidade de SoS a partir de um PoP real. O engenheiro de SoS avaliou a facilidade de uso e a utilidade da ferramenta desenvolvida, bem como os requisitos extraídos, considerando o critério de completude (IEEE, 1998) e o alinhamento entre os níveis de negócio e técnico. Para isso, o engenheiro de SoS respondeu um questionário de avaliação, construído com base no Modelo de Aceitação de Tecnologia (*Technology Acceptance Model - TAM*) (MARANGUNIC; GRANIC, 2015).
4. **Contribuições de pesquisa:** A principal contribuição deste trabalho foram os artefatos produzidos, ou seja, cenários abstratos de interoperabilidade, bem como o Metamodelo estendido do PoP e as Diretrizes de extração que compõem a abordagem proposta para facilitar a extração e especificação de requisitos de interoperabilidade no contexto de SoS.
5. **Rigor da pesquisa:** Para atingir o rigor necessário neste projeto, foi realizado um mapeamento sistemático com o objetivo de compreender o modo com que os

requisitos de interoperabilidade no contexto de SoS têm sido elicitados, especificados e validados.

6. **Projeto como um processo de busca:** Como discutido anteriormente, a representação utilizada para a modelagem de um PoP (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021) foi estendida para tratar adequadamente a interoperabilidade entre processos constituintes de um ou mais PoP, a fim de que o PoP forneça informações relevantes para a extração de requisitos de interoperabilidade de SoS que automatiza tais processos. A validação foi baseada em técnicas utilizadas para avaliação do projeto, descritas na orientação 3.
7. **Comunicação da pesquisa:** Os resultados obtidos a partir da abordagem definida serão descritos em três artigos, que serão submetidos em conferências relevantes da área. Além disso, a documentação da ferramenta PoP-IRE foi disponibilizada eletronicamente e o registro de software junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) foi finalizado (Processo n. BR512024000971-0).

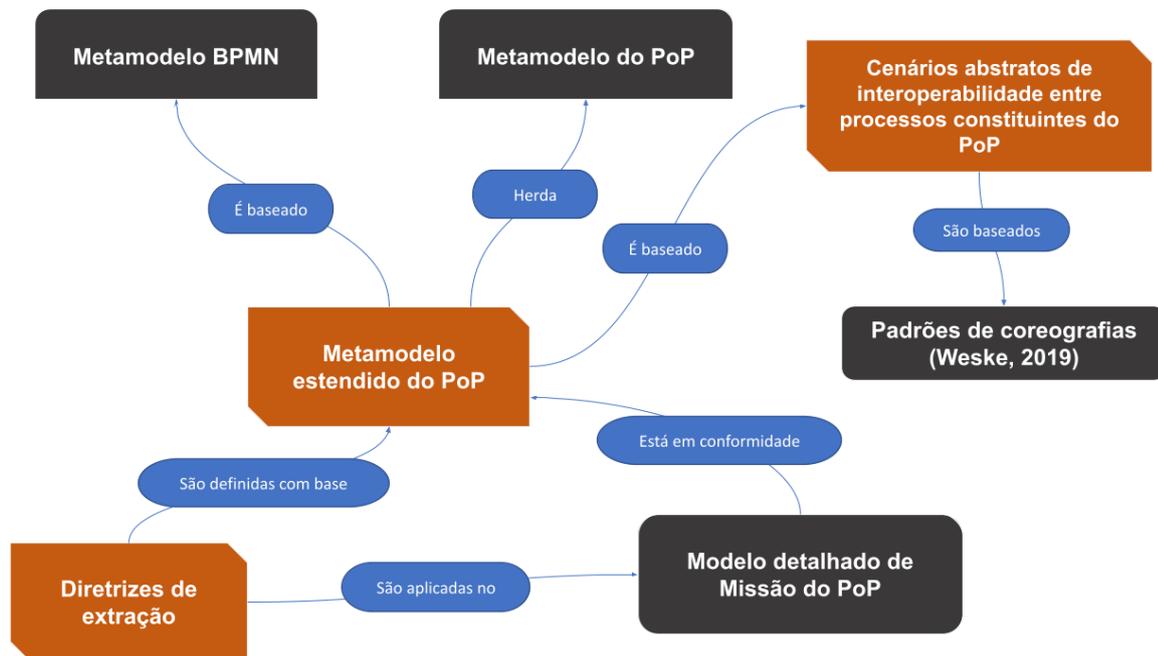


Figura 2 – Artefatos construídos no trabalho e fontes de informação

Adicionalmente, DSR envolve o **ambiente**, que consiste do domínio de aplicação (ou seja, pessoas, organizações e sistemas de software que interagem para trabalhar em direção a um objetivo) e dos problemas e oportunidades identificados, a **base de conhecimento** necessária para fundamentar o desenvolvimento do trabalho e três ciclos de atividades relacionadas (HEVNER; CHATTERJEE, 2010) (**Ciclo de Relevância**, **Ciclo de Design** e **Ciclo de Rigor**), que são executados de maneira iterativa. A es-

estrutura conceitual da DSR instanciada para o contexto deste trabalho de mestrado está apresentada na Figura 3.

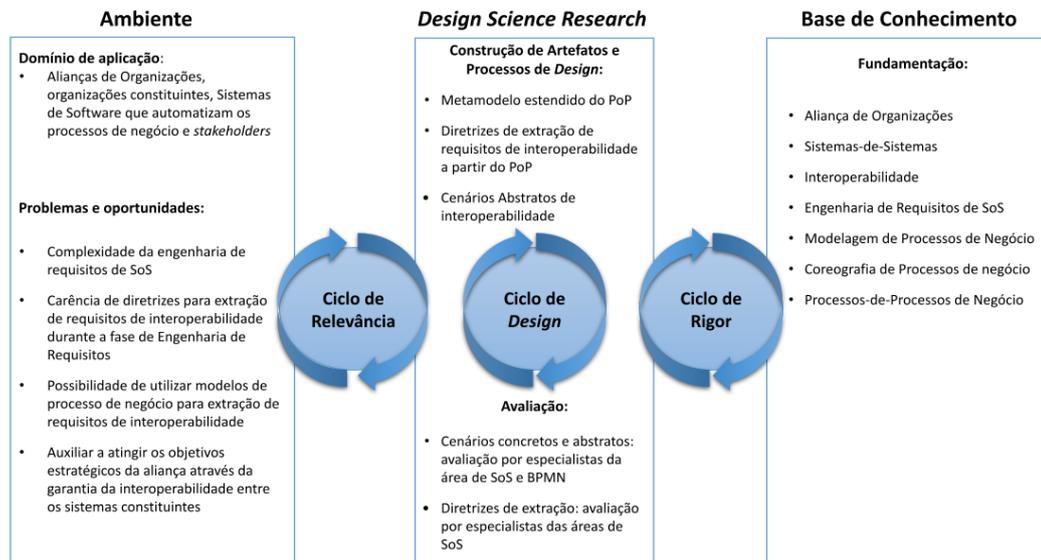


Figura 3 – Estrutura Conceitual da DSR instanciada para a proposta de mestrado (adaptado de Hevner e Chatterjee (2010))

O **Ciclo de Relevância** é motivado pela vontade de aprimorar o ambiente a partir da produção e construção de novos artefatos. Para isso, é definido o domínio da aplicação detalhando as interações entre pessoas, sistemas organizacionais e sistemas técnicos que interagem para alcançar um objetivo. Também nesse ciclo são identificados os problemas e oportunidades atuais do ambiente de aplicação.

No âmbito desta pesquisa destaca-se como domínio de aplicação o modo com que os membros de uma aliança de organizações se relacionam e a forma com que a troca de informações realizada por esses membros é automatizada pelos sistemas de software que compõe um SoS e como este relacionamento impacta o alcance das missões do SoS para atingir os objetivos de negócio da aliança. Para isso, foram analisados PoP reais de alianças de organizações para identificar a forma mais adequada que seus constituintes devem se relacionar considerando o dinamismo e os conflitos que podem existir durante a formação de um SoS, obtendo-se assim as informações necessárias de modelos PoP na notação BPMN para especificar os requisitos de interoperabilidade do SoS.

No Ciclo de Relevância, também são definidos os requisitos da pesquisa e os critérios para avaliar os resultados da pesquisa. Foram estabelecidos os seguintes requisitos para a abordagem proposta: (i) Tratar a interoperabilidade durante a comunicação bidirecional entre processos constituintes, tanto intraorganizacional quanto interorganizacional, considerando o dinamismo do PoP, incluindo entrada, saída e alteração de processos cons-

tituintes no PoP, em tempo de execução; (ii) Estender o metamodelo do PoP para obter informações essenciais sobre a interoperabilidade de SoS a partir do PoP; e (iii) Cobrir as etapas de extração e especificação de requisitos de interoperabilidade de SoS dirigidas pelo PoP.

Como critérios para avaliar os resultados da pesquisa, foram elencados os seguintes: (i) A abordagem proposta deve considerar um conjunto de elementos do BPMN para representar adequadamente a interoperabilidade durante a comunicação dinâmica entre os processos constituintes do PoP que são automatizados por SoS; (ii) A abordagem deve possibilitar a extração sistemática de requisitos de interoperabilidade do SoS com qualidade. Em particular, os requisitos de interoperabilidade do SoS extraídos pela abordagem proposta devem ser completos, ou seja, garantindo o alcance da interoperabilidade entre todos os constituintes do SoS, levando em consideração o dinamismo existente, e alinhados ao negócio, evidenciando a origem (em nível de negócio) de cada requisito extraído.

No **Ciclo de *Design***, iterações rápidas foram realizadas durante a construção de cada artefato, avaliando-o e coletando feedback para refinamento do seu design. É crucial manter um equilíbrio durante a execução desse ciclo. Os artefatos e as técnicas de avaliação que foram adotadas neste trabalho estão descritos na orientação 3.

No **Ciclo de *Rigor***, a principal função é incorporar o conhecimento existente ao projeto para garantir sua inovação. É essencial realizar uma busca abrangente para assegurar que as contribuições sejam pesquisas originais e não designs comuns baseados em processos conhecidos ou na adaptação de artefatos existentes. É preciso ter cuidado para não basear o trabalho inteiramente em metodologias ou teorias existentes, pois estas podem estar incompletas, e o que será proposto pode contribuir para o desenvolvimento e aprimoramento dessas teorias. No contexto deste trabalho, a base de conhecimento utilizada para construir os artefatos propostos está detalhada no Capítulo 2.

Espera-se que os resultados deste trabalho avancem o estado da arte em técnicas para extração de requisitos de interoperabilidade em SoS a partir de modelos complexos e dinâmicos que representem adequadamente a interoperabilidade do PoP. Com isso, busca-se garantir o alinhamento da interoperabilidade entre os níveis de negócio e técnico, visando alcançar os objetivos estratégicos das alianças de organizações.

1.5 Organização da Escrita

A escrita desta dissertação está organizada em mais cinco capítulos. No Capítulo 2 é descrito todo o embasamento teórico necessário para a compreensão do escopo deste trabalho. No Capítulo 3 são apresentados os trabalhos relacionados identificados a partir de um mapeamento sistemático, bem como as lacunas encontradas na literatura. No Capítulo 4 são apresentados cenários concretos e abstratos de interoperabilidade, juntamente

com a extensão do metamodelo do PoP para adicionar os elementos BPMN identificados nos cenários abstratos para representar de maneira apropriada interoperabilidade em PoP. O Capítulo 5 apresenta as diretrizes para a extração de requisitos de interoperabilidade de SoS utilizando modelos do PoP como fonte de informação, bem como a automação da extração dos requisitos de interesse por meio da ferramenta desenvolvida e incorporada à ferramenta *PoP Modeler*. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho realizado, destacando as principais contribuições, desafios, limitações e perspectivas de trabalhos futuros.

2 Embasamento Teórico

2.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo são apresentadas diversas definições e conceitos essenciais para a compreensão dos conteúdos utilizados neste trabalho. A Seção 2.2 define conceitos relevantes de aliança de organizações para o escopo deste trabalho. A Seção 2.3 descreve as principais características e definições de SoS. A Seção 2.3.1 discorre sobre interoperabilidade, exemplificando tipos de interoperabilidade no contexto de SoS. A Seção 2.3.2 apresenta a Engenharia de Requisitos de SoS e seus principais desafios. A Seção 2.4 discorre sobre a modelagem de processos de negócio, indicando os principais elementos do BPMN que são comumente utilizados e padrões de comunicação entre processos de negócio. A Seção 2.5 apresenta a definição, características e termos-chave relacionados a PoP, bem como os principais modelos utilizados para representá-lo e a ferramenta de apoio *PoP Modeler*. Por fim, a Seção 2.6 aborda as considerações finais deste capítulo.

2.2 Alianças de organizações

As alianças entre organizações podem ser definidas de diversas formas e sua caracterização é baseada na colaboração existente entre as organizações envolvidas na aliança (ROJAS; RINCÓN; MESA, 2014). Uma aliança refere-se a um acordo organizacional estabelecido para facilitar relações corporativas (PARK; CHEN; GALLAGHER, 2002), no qual as partes mantêm um certo nível de autonomia, porém apresentam um grau de interdependência, direcionando seus recursos para um compromisso específico (MARSHALL; NGUYEN; BRYANT, 2005).

Para facilitar a identificação do tipo de aliança de organizações que é formado, Albers, Wohlgezogen e Zajac (2016) estabeleceram três conjuntos de critérios, que ao serem utilizados para explicar o modo com que a aliança será formada, tem-se maior clareza acerca do domínio da aliança e seus potenciais riscos:

- *baseado em domínio de atividade*: o tipo de aliança é identificado a partir das tarefas realizadas em conjunto pelos parceiros;
- *baseado em características do parceiro*: o tipo de aliança é baseado nas características individuais de cada parceiro que está envolvido na aliança; e
- *baseado na estrutura da aliança*: o tipo de aliança é baseado em como a relação entre cada um dos parceiros será organizada e gerenciada.

Baseadas na necessidade de alcançar um crescimento notável, comparado ao crescimento orgânico de uma organização única, as fusões, aquisições e parcerias de organizações têm um papel importante na formação de novas alianças de organizações para entregar produtos e serviços com maior valor agregado aos clientes, alcançar crescimento econômico e obter maior vantagem competitiva (KUMAR; SHARMA, 2019). Com a formação de novas alianças, há necessidade de integrar os sistemas de software das organizações que pertencem às alianças para trabalharem em conjunto, comumente dando origem aos SoS (LANE; EPSTEIN, 2013).

2.3 Sistemas-de-Sistemas

Sistemas-de-Sistemas (SoS) são conjuntos de sistemas independentes que são integrados por meio de uma interface para alcançar objetivos estratégicos definidos como missões do SoS (JAMSHIDI, 2008). Esses sistemas que compõem o SoS são conhecidos como sistemas constituintes, e quando interagem entre si, produzem comportamentos diferentes daqueles oferecidos pelos sistemas individualmente, buscando cumprir as missões do SoS¹ (DERSIN, 2014). Os constituintes de um SoS possuem cinco características próprias (MAIER, 1998) que os distinguem de outros sistemas complexos:

1. **Independência Operacional:** Qualquer sistema constituinte que compõe o SoS é independente e tem a capacidade de operar de forma individual, caso o SoS seja descontinuado;
2. **Independência Gerencial:** Cada sistema constituinte que faz parte do SoS opera independentemente, possuindo seu próprio ciclo de vida e seu gerenciamento individual;
3. **Distribuição:** Os constituintes do SoS podem estar distribuídos virtualmente ou em uma larga extensão demográfica, pois realizam apenas trocas de informações;
4. **Desenvolvimento evolucionário:** Os constituintes do SoS podem evoluir continuamente, implicando na evolução do SoS; SoS também evolui devido à mudanças em seu ambiente e missões e, como consequência, possui arquitetura dinâmica que requer uma nova organização de seus constituintes; e
5. **Comportamento emergente:** Devido à colaboração entre os sistemas constituintes, o SoS possui um sinergismo que possibilita realizar comportamentos que antes não eram possíveis sem os constituintes operarem em conjunto.

¹ Atividades do sistema para cumprir objetivos dos seus *stakeholders* (BEALE; BONOMETTI, 2006).

Ao analisar a arquitetura de SoS, nota-se uma característica adicional, que é sua arquitetura dinâmica. Essa dinamicidade decorre da autonomia dos seus constituintes, os quais podem ingressar ou sair da arquitetura do SoS em tempo de execução (OQUENDO, 2016). Essa dinamicidade é essencial para garantir o cumprimento das missões do SoS, pois permite lidar com as evoluções necessárias ou a disponibilidade de cada sistema constituinte necessário para sua execução (GRACIANO-NETO et al., 2017).

Ademais, SoS podem ser classificados em quatro categorias (Figura 4) de acordo com a taxonomia definida por Maier (1998). Essas categorias são diferenciadas pela forma que o SoS é gerenciado e pelo modo que os seus sistemas constituintes se relacionam (MAIER, 1998):

1. **Dirigido:** Os sistemas constituintes possuem a capacidade de operar de forma independente; contudo, o modo operacional dos constituintes está subordinado a uma entidade central;
2. **Reconhecido:** Uma entidade central irá estabelecer uma via bidirecional de comunicação onde os sistemas constituintes consultam uns aos outros para a descoberta de novos sistemas constituintes e os serviços prestados por eles, assim os constituintes conseguem se comunicar e se organizar para completar as missões do SoS;
3. **Colaborativo:** Difere do dirigido pois não existe uma organização central para realizar o gerenciamento; assim, os sistemas constituintes deverão colaborar coletivamente para a obtenção das missões do SoS; e
4. **Virtual:** SoS virtuais não possuem um gerenciamento centralizado; contudo, contam com uma colaboração em larga escala que possui características invisíveis (ou seja, os comportamentos do SoS são altamente emergentes e é difícil distinguir os seus sistemas constituintes) para manter o funcionamento correto do SoS e para alcançar as suas missões.

O tipo de categoria identificado pela taxonomia de Maier (1998) irá afetar diretamente a arquitetura e a organização do SoS, indicando o quão adaptativo e cooperativo um sistema constituinte pode ser em relação aos seus requisitos de sistema, interfaces, formato de dados e tecnologias (FERREIRA; NAKAGAWA; SANTOS, 2021).

De modo geral, os sistemas constituintes de um SoS precisam estar habilitados para trabalharem em conjunto, pois essa é uma das características essenciais para o correto funcionamento e sucesso de um SoS. No entanto, os sistemas constituintes não foram originalmente projetados para interoperar entre si (HENSHAW; AL, 2013). Esse fato, particularmente, se torna um grande desafio ao tentar integrar os distintos sistemas de software das organizações no processo de formação de uma aliança de organizações. Diante disso, é fundamental entender os requisitos de interoperabilidade de SoS.

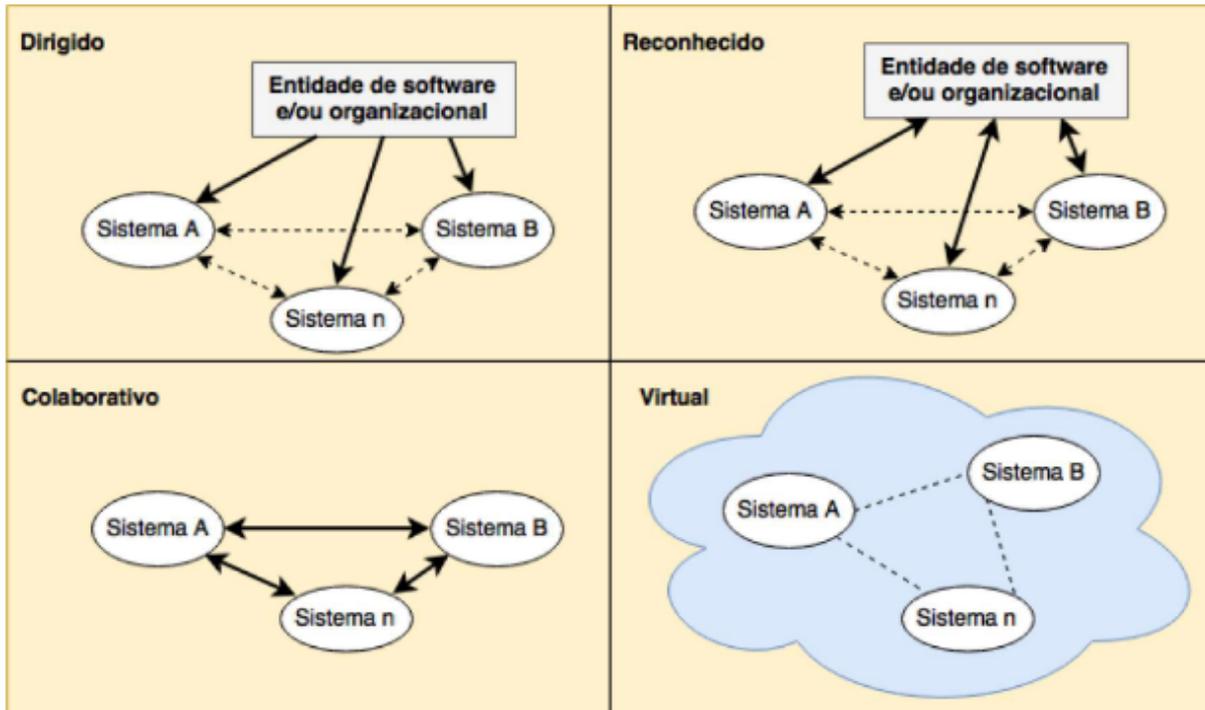


Figura 4 – Representação da Taxonomia de SoS (adaptado de Lane e Epstein (2013))

2.3.1 Interoperabilidade

De acordo com a ISO/IEC 25010 (ISO, 2014), interoperabilidade se refere ao grau em que um sistema pode desempenhar suas funções e trocar informações com outros sistemas dentro do mesmo ambiente de software. Além disso, a interoperabilidade é a capacidade dos sistemas de software de se comunicar com vários equipamentos e plataformas, tornando-se um requisito essencial para suportar as atividades realizadas em um SoS de forma eficiente e efetiva (MACIEL et al., 2017).

Diferentes tipos de interoperabilidade podem ser necessários para realizar uma comunicação distribuída entre os sistemas de software. Esses tipos são classificados a partir da maturidade e da capacidade de interoperação entre os sistemas. Os tipos comumente tratados na academia e na indústria são interoperabilidade sintática, semântica, pragmática e organizacional (SANTOS; PINHEIRO; MACIEL, 2021). Em nível de hierarquia, a sintática é definida como a forma mais básica de comunicação e a organizacional a mais complexa (TOLK; DIALLO; TURNITSA, 2007). A seguir são descritos os tipos de interoperabilidade mencionados, acompanhados por um exemplo no contexto de SoS.

A interoperabilidade sintática está associada à formatação de mensagens para serem trocadas por diferentes sistemas de software que colaboram entre si para realizarem uma ou mais atividades, preocupando-se em garantir que os dados das mensagens trocadas possuam o mesmo formato. Para isso, utilizam uma gramática ou um vocabulário compatível (ASUNCION; SINDEREN, 2010). No contexto de SoS, é necessário detalhar as mensagens trocadas entre pares de constituintes envolvidos no SoS, bem como os pa-

râmetros, tipos de parâmetros, retorno e tipo de retorno de cada mensagem.

A interoperabilidade semântica se refere à capacidade de entidades distintas (sistemas de software transmissor e receptor) compreenderem e processarem o significado do conteúdo de uma mensagem. Para isso é necessário que ambas as partes definam, da mesma forma, as entidades, propriedades e valores (MACIEL et al., 2017). Sob a perspectiva de SoS, é necessário garantir que as mensagens trocadas entre os seus sistemas constituintes possuam o mesmo significado e interpretação.

A interoperabilidade pragmática tem o objetivo de garantir que os sistemas de software emissor e receptor compartilhem as mesmas expectativas sobre o efeito das mensagens trocadas, ou seja, a intenção da mensagem pelo emissor deve ser compatível com a mensagem utilizada pelo receptor (ASUNCION; SINDEREN, 2011). Sendo assim, no cenário de SoS, é necessário garantir que cada par de constituintes compreenda de forma total a intenção de uso das mensagens que serão trocadas entre eles para o cumprimento da missão estabelecida.

Por fim, a interoperabilidade organizacional tem como objetivo validar os requisitos de negócio entre as partes colaboradoras, através de suas intenções de negócio e políticas organizacionais (MACIEL et al., 2017). Dessa forma, no contexto de SoS, é necessário que os objetivos estratégicos das organizações envolvidas na aliança sejam compartilhados para que as missões do SoS sejam identificadas e alcançadas.

Diante do exposto, observa-se que no contexto de SoS é necessário que a interoperabilidade seja atendida de forma total, podendo ter sua compreensão influenciada por fatores técnicos, organizacionais ou humanos, como a definição de responsabilidades, autoridade, definição de métricas e conectividade (FERNANDES; NETO; SANTOS, 2021), ou seja, os sistemas constituintes participantes da comunicação devem buscar evoluir sua interoperabilidade para garantir que as trocas de mensagens cumpram seus objetivos, atendendo de maneira apropriada a interoperabilidade dos tipos sintática, semântica e pragmática com o intuito de alcançar com sucesso as missões do SoS.

Salienta-se que o contexto em que um sistema constituinte está inserido em um SoS o uso das mensagens é compreendido somente entre os sistemas participantes da comunicação. Diante disso, é responsabilidade dos desenvolvedores identificar os contextos necessários, definindo quais serão os requisitos de interoperabilidade do SoS a serem atendidos (MACIEL et al., 2017; ASUNCION; SINDEREN, 2011).

2.3.2 Engenharia de Requisitos

Ao longo do processo de desenvolvimento de software, os processos tradicionais de Engenharia de Requisitos realizam um conjunto de tarefas (como extração, análise, especificação, verificação e gerenciamento de mudanças de requisitos) de forma cíclica.

Isso garante que todos os requisitos de um sistema de software sejam identificados e validados (SOMMERVILLE; SAWYER, 1997). Diferentemente desse processo tradicional, a Engenharia de Requisitos no contexto de SoS tem como objetivo selecionar um conjunto de sistemas constituintes com capacidades que possibilitam o cumprimento das missões do SoS. Essas capacidades correspondem a um conjunto de requisitos que são altamente voláteis devido ao dinamismo do SoS (NCUBE; LIM, 2018).

Dada a complexidade para realizar com sucesso o processo de Engenharia de Requisitos de SoS, se torna necessário o uso de abordagens apropriadas que auxiliem a atividade de extração de requisitos, sendo a combinação das abordagens *top-down* e *bottom-up* (LEWIS et al., 2009) uma opção a ser considerada. De acordo com Lewis et al. (2009), a abordagem *top-down* busca identificar as propriedades e capacidades no contexto geral do SoS, contemplando o entendimento do tipo do SoS (ou seja, dirigido, reconhecido, colaborativo e virtual), assim como os ambientes associados, os sistemas constituintes, as interações entre os constituintes e as missões do SoS. Já a abordagem *bottom-up* busca compreender as capacidades fornecidas por cada sistema constituinte, além de suas restrições internas e externas.

Contudo, o processo de Engenharia de Requisitos de SoS possui diversos desafios que dificultam o gerenciamento dos requisitos, como (LEWIS et al., 2009): (i) escalabilidade, pois engloba interações entre diversos sistemas constituintes; (ii) SoS pode estar relacionado a diversos domínios, resultando em divergência entre conceitos homônimos; (iii) SoS pode possuir um contexto variável, ou seja, pode variar de acordo com situações específicas de negócio; e (iv) controle descentralizado, pois os constituintes do SoS podem estar distribuídos geograficamente, dificultando assim a rastreabilidade e o entendimento de todos os requisitos.

Nota-se também que há dificuldade para identificar os requisitos não funcionais apropriados para auxiliar no estabelecimento de uma arquitetura adequada para SoS, uma vez que os sistemas constituintes por serem independentes gerencialmente e operacionalmente e se comunicarem com outros SoS de modo concorrente e dinâmico, faz com que as soluções tradicionais presentes na Engenharia de Requisitos sejam incompletas para tratar de maneira apropriada essas particularidades (NCUBE; LIM, 2018).

Existe também uma dificuldade para o desenvolvimento de técnicas e ferramentas de Engenharia de Requisitos de SoS que resolvam a problemática de escalabilidade dinâmica, na qual o SoS se expande no escopo funcional e estrutural, uma vez que os sistemas constituintes, por serem independentes, acabam adotando uma arquitetura que favorece os seus objetivos particulares e não os propósitos do SoS (NCUBE; LIM, 2018).

Cada tipo de SoS (dirigido, reconhecido, colaborativo e virtual (MAIER, 1998)) impacta de um modo diferente no processo de Engenharia de Requisitos, uma vez que os relacionamentos inter-organizacionais ou intraorganizacionais são essenciais para auxiliar

na descoberta de requisitos de interoperabilidade alinhados ao contexto de negócio.

Além disso, como os sistemas constituintes possuem independência gerencial e operacional, o gerenciamento de requisitos ocorre em diferentes sistemas constituintes, que possivelmente possuem requisitos potencialmente concorrentes e conflitantes entre eles, que de alguma forma precisam ser tratados (HOLT et al., 2015).

Considerando os diversos desafios de interoperabilidade (Seção 2.3.1) e da Engenharia de Requisitos de SoS, é imprescindível realizar o tratamento adequado dos requisitos de interoperabilidade do SoS, desde a elicitação até a validação e o controle de mudanças, visto que esses requisitos são primordiais para garantir que as missões do SoS e os objetivos estratégicos das alianças de organizações sejam alcançados. Para isso, o tratamento dos requisitos de interoperabilidade de SoS deve ocorrer de maneira evolutiva, durante todo o ciclo de vida do SoS, e considerar o alinhamento entre os níveis técnico e de negócio (COSTA; PAIVA; CAGNIN, 2022).

Salienta-se que modelos de processos de negócio são uma possível fonte de informação para extrair requisitos tanto funcionais quanto não funcionais, devido aos diversos benefícios que oferecem, como melhor entendimento do ambiente organizacional no qual o software será executado, garantindo assim o alinhamento dos requisitos às necessidades reais do negócio (AHMED; MATULEVIČIUS, 2014b; CRUZ; MACHADO; SANTOS, 2015; PRZYBYLEK, 2014). Até onde sabemos, essa fonte de informação é utilizada para extrair requisitos de sistemas de software únicos (CARDOSO; ALMEIDA; GUIZZARDI, 2009; NOGUEIRA; OLIVEIRA, 2017), tornando-se assim um caminho a ser trilhado para a resolução de desafios encontrados na Engenharia de Requisito de SoS.

2.4 Modelagem de Processos de Negócio

Há mais de uma definição amplamente aceita para processo de negócio. De acordo com Hull, Mendling e Tai (2018), um processo de negócio é uma coleção de atividades, eventos inter-relacionados, pontos de decisão, atores e objetos que coletivamente levam a um resultado com valor agregado para pelo menos um cliente. Essas atividades são realizadas em um ambiente organizacional para alcançar um ou mais objetivos de negócio (WESKE, 2019).

Os processos de negócio são representados em modelos, que são um artefato essencial para o Gerenciamento de Processos de Negócio (*Business Process Management - BPM*) e, portanto, está presente em todo ciclo de vida do processo (DUMAS et al., 2013). Geralmente, o modelo de processo de negócio é representado de forma gráfica e fornece um entendimento das operações de negócio e conhecimento da organização ao capturar os diversos caminhos pelos quais o negócio pode percorrer (AALST, 2013).

BPM é definido como um conjunto de atividades que tratam a modelagem, análise, melhorias, publicação e monitoramento de processos de negócio (AALST, 2013). O uso do BPM pode trazer diversas vantagens, como redução da carga de trabalho dentro de uma organização devido à automação da coordenação de processos, auxílio na integração de sistemas de informação utilizados em uma organização para automatizar seus processos e também torna os processos transparentes e rastreáveis, simplificando assim a aplicação das regras de negócio (DUMAS et al., 2013).

Os modelos de processos de negócio são elaborados durante a modelagem, que é a primeira atividade-chave do BPM e é essencial para apoiar as demais atividades. O principal objetivo da modelagem é sistematizar a criação de modelos de processos de negócio a partir de diversas perspectivas utilizando notações adequadas (ROSING et al., 2015), como é o caso da BPMN (*Business Process Model and Notation*) (OMG, 2014a) que é amplamente adotada na academia e na indústria (CHINOSI; TROMBETTA, 2012) e no contexto de SoS (SANTOS; GRACIANO-NETO; NAKAGAWA, 2020).

BPMN possui a capacidade de compreender cada processo de negócio através de uma notação gráfica que fornece uma estrutura para compartilhar esses processos de modo padronizado, possuindo ferramentas que auxiliam a modelagem de forma mais efetiva reduzindo possíveis ambiguidades que podem afetar o entendimento e desempenho dos processos de negócio (OMG, 2014a). Os principais elementos da notação BPMN de interesse deste trabalho estão ilustrados e descritos sucintamente na Tabela 1.

O entendimento da comunicação entre os processos de negócio das organizações de uma aliança são essenciais para compreender como alcançar as missões do SoS que automatiza tais processos. Porém, esses processos de negócio foram modelados para serem executados de forma independente gerencialmente e operacionalmente por cada organização. Para o alcance com sucesso das missões do SoS é necessário possibilitar a colaboração adequada entre os processos de negócio de diversas organizações de modo que a comunicação entre eles seja realizada da melhor forma, considerando o entendimento correto da mensagem e o dinamismo que pode existir no escopo das alianças dado que uma organização pode ingressar ou deixar de fazer parte de um SoS a qualquer momento.

2.4.1 Coreografia de Processos de Negócio

A coreografia de processos de negócio é um meio de representar e gerenciar as interações interorganizacionais, sob as quais vários agentes independentes cooperantes trocam mensagens para a realização de uma tarefa, com o objetivo de atingir uma meta (DECKER, 2009). Portanto, essa cooperação deve ser definida com bastante cuidado, sendo necessário que pelo menos uma parte dela seja realizada por sistemas de software (WESKE, 2019).

Tabela 1 – Elementos de interesse do BPMN

Elemento	Descrição	Notação Gráfica
Evento	É algo que ocorre durante o curso de um processo, geralmente possui uma causa (gatilho) ou um impacto (resultado). Existem três tipos de Eventos, com base em quando eles afetam o fluxo de execução do processo: Início, Intermediário e Fim	
Atividade	É um termo genérico para representar uma atividade que a empresa realiza. Pode ser atômica ou não atômica (composta de outras atividades e denominada subprocesso).	
Piscina (<i>Pool</i>)	É uma representação gráfica de um participante em uma colaboração, ou seja, é um contêiner gráfico para representar um conjunto de atividades	
Raia (<i>Lane</i>)	É uma sub-partição dentro de uma piscina que existe durante toda extensão do processo, seja de modo vertical ou horizontal. Tem como objetivo organizar e categorizar as atividades.	
Fluxo de sequência	É utilizado para mostrar a ordem com que as atividades são executadas em um processo.	
Fluxo de mensagem	É utilizado para mostrar o fluxo de mensagens entre dois participantes que estão prontos para enviar e receber essas mensagens.	
Desvio (<i>Gateway</i>)	É utilizado para controlar a divergência e convergência de fluxos de sequência em um processo. Determinando assim, ramificações, bifurcações, fusão e junção de caminhos.	
Objeto de dados	Fornecer a informação sobre quais atividades precisam ser executadas ou o que elas produzem. Pode representar um objeto único ou um conjunto de objetos.	
Múltipla instância	Um conjunto de três linhas verticais é exibida no centro inferior da atividade ou piscina para indicar múltipla instância do respectivo elemento.	

As coreografias são baseadas em trocas de mensagem que podem ser realizadas por vários participantes de diversas organizações². Para facilitar a definição de coreografias entre processos de negócios, padrões de interação de serviços foram definidos na literatura pelo autor [Weske \(2019\)](#) e estão descritos na Tabela 2. Esses padrões são classificados por:

² A definição de coreografia foi utilizada neste trabalho de acordo com [Weske \(2019\)](#).

(i) número de participantes envolvidos; (ii) número de mensagens trocadas; e (iii) variações no receptor da mensagem. Porém, esses padrões não representam todo o dinamismo dos processos de negócios das organizações que pertencem às alianças de organizações.

Neste trabalho, foi analisada a cobertura dos padrões de interação de serviços em relação ao dinamismo da cooperação entre os processos de negócio grandes, complexos e dinâmicos das organizações que pertencem às alianças. Para isso, utilizou-se como critério de análise a capacidade de adaptação do próprio mecanismo de comunicação, representado em cada padrão, para conseguir finalizar a comunicação iniciada, levando em consideração o dinamismo que pode ocorrer no contexto de SoS, que automatizam os processos de negócios complexos das alianças.

Uma vez que um *link* bidirecional é criado para a troca de informações em todas as comunicações entre sistemas constituintes de um SoS, é fundamental considerar que, devido ao dinamismo, esses *links* podem ser rompidos ou haverá a necessidade de criar novos *links* com outros sistemas constituintes do SoS para garantir que uma missão do SoS seja alcançada.

Como opções de resposta para a análise realizada, foi utilizada a seguinte escala: (i) Não possui, indica que o padrão não possui nenhum mecanismo para tratar o dinamismo, ou seja, caso um dos participantes da comunicação não esteja disponível, a comunicação não será efetuada; (ii) Parcial, significa que o padrão possui parcialmente um mecanismo para tratar o dinamismo ao realizar o endereçamento a outros participantes, contudo ainda existe perda de desempenho ou informação durante as trocas de mensagem; e (iii) Completa, aponta que a comunicação possui mecanismos que lidam com as eventuais mudanças decorrentes do dinamismo, realizando a troca de mensagens de forma completa, sem afetar o desempenho. Os resultados da análise estão apresentados na última coluna da Tabela 2.

Tabela 2 – Padrões de interação de serviços (adaptado de [Weske \(2019\)](#))

Nome do Padrão	Descrição	Cobertura em relação ao dinamismo de processos complexos e dinâmicos
Enviar (<i>Send</i>)	Representa uma interação de uma via entre dois participantes na perspectiva do remetente.	Não possui
Receber (<i>Receive</i>)	Representa uma interação de uma via entre dois participantes na perspectiva do receptor.	Não possui

Tabela 2 – Padrões de interação de serviços (adaptado de [Weske \(2019\)](#)) - continuação

Enviar/Receber (<i>Send/Receive</i>)	Representa um participante que envia uma requisição a outro participante, o qual retorna uma mensagem de resposta. Ambas as mensagens pertencem à mesma conversa.	Não possui
Corrida de mensagens recebidas (<i>Racing Incoming Messages</i>)	Esse padrão é comum no cenário <i>business-to-business</i> e representa um participante que está esperando uma mensagem chegar, porém os outros participantes possuem uma chance para enviar essa mensagem e somente a primeira mensagem que chegar será processada.	Parcial
Enviar um para muitos (<i>One-To-Many Send</i>)	Representa um participante que envia várias mensagens para outros participantes de forma paralela.	Parcial
Receber um para muitos (<i>One-From-Many Receive</i>)	As mensagens podem ser recebidas de diversos participantes, ou seja, um participante espera a chegada de mensagens sem saber a quantidade de mensagens que irá receber; contudo cada participante poderá enviar somente uma mensagem para esse receptor.	Parcial
Enviar/Receber um para muitos (<i>One-To-Many Send/Receive</i>)	Um participante envia várias requisições para diferentes participantes e espera as respostas.	Não possui
Múltiplas respostas (<i>Multi-Responses</i>)	Um participante envia uma requisição a outro participante e espera várias respostas; contudo é necessário saber a condição de parada, ou seja, quando não se espera mais respostas.	Não possui
Solicitações contingentes (<i>Contingent Requests</i>)	Um participante envia uma requisição a outro participante; caso esse participante não envie uma resposta em um tempo determinado, a requisição é enviada a um outro participante.	Parcial
Notificação <i>Multi-cast</i> Atômico (<i>Atomic Multicast Notification</i>)	Um participante envia várias notificações a diversos participantes que necessitam aceitar a notificação.	Parcial

Tabela 2 – Padrões de interação de serviços (adaptado de [Weske \(2019\)](#)) - continuação

Solicitar com referência (<i>Request With Referral</i>)	Um participante A envia uma mensagem para outro participante B contendo uma referência ao participante C. Contudo, B não precisa conhecer C previamente; desta forma, B agora pode interagir com C.	Não possui
Solicitação retransmitida (<i>Relayed Request</i>)	Um participante A envia uma solicitação a outro participante B que a envia para um terceiro participante C que irá interagir com A. No entanto, B sempre obtém cópias das mensagens trocadas para poder observar a conversa.	Não possui

Os padrões listados na Tabela 2 não possuem cobertura completa ao dinamismo dos processos complexos e dinâmicos das alianças, uma vez que para o alcance desse nível de cobertura é necessário lidar com restrições e mudanças de negócio antes do envio de mensagens, o que não é observado pelos padrões. Por outro lado, foi observada uma cobertura parcial dos padrões que conseguem completar um ciclo de envio/recebimento de mensagens mesmo com a remoção de um emissor ou receptor, por possuírem mecanismos que realizam um tratamento de exceções adequado ao dinamismo, como critérios para processamento de uma fila de mensagens ou restrições de tempo para o processamento ou reenvio das mensagens.

Os processos de negócios das alianças de organizações normalmente automatizados por SoS, denominados Processos-de-Processos de Negócio ([CAGNIN; NAKAGAWA, 2021](#)), possuem uma grande complexidade, uma vez que eles podem mudar em tempo de execução devido às alterações nos agentes externos, como a criação de novas leis, ou até mesmo mudanças de objetivos que impactam diretamente nas missões do SoS.

2.5 Processos-de-Processos de Negócio

Motivados pela lacuna encontrada entre o nível de processo e o nível técnico de um SoS, [Cagnin e Nakagawa \(2021\)](#) definiram os Processos-de-Processos de Negócio (PoP). PoP se refere a processos de negócio grandes, complexos e dinâmicos compostos por processos de negócio (que também podem incluir outros PoP) automatizados por sistemas de software, que normalmente formam um SoS. Esses processos que integram o PoP são denominados processos constituintes e colaboram de maneira oportuna entre eles para alcançar objetivos estratégicos de negócio mais amplos de alianças de organizações ([CAGNIN; NAKAGAWA, 2021](#)).

De acordo com [Cagnin e Nakagawa \(2021\)](#), esses processos complexos possuem

características similares às características de SoS, contudo em nível de negócio. Essas características únicas de PoP irão distingui-lo de um processo de negócio tradicional e estão elencadas a seguir:

1. **Independência operacional:** Todo processo constituinte é independente e tem a capacidade de operar de forma separada do PoP;
2. **Independência gerencial:** Cada processo constituinte é gerenciado por uma empresa, mesmo fazendo parte do PoP;
3. **Distribuição:** Os processos constituintes estão distribuídos entre as organizações que compõem uma aliança de organizações e interoperam por meio de mensagens;
4. **Melhoria contínua:** Um PoP está sempre em constante mudança devido à modificações nos objetivos estratégicos do negócio das alianças de organizações; com isso pode ser necessário adicionar, modificar, remover e até mesmo substituir processos constituintes do PoP;
5. **Comportamento emergente:** Comportamentos do PoP surgem como resultado da sinergia da colaboração entre os processos constituintes; e
6. **Reconfiguração dinâmica:** Mudanças podem ocorrer em tempo de execução na configuração do PoP para garantir a sua estabilidade quando ocorrem falhas ou comportamentos inesperados em seus processos constituintes.

Para compreender melhor os conceitos-chave relacionados ao PoP, [Cagnin e Nakagawa \(2021\)](#) apresentam uma visão geral do PoP em dois níveis de abstração, sendo: (1) PoP abstrato, que representa o PoP em nível de *design*; e (2) PoP concreto, que representa o PoP em tempo de execução derivado de um PoP abstrato, como ilustrado na Figura 5.

No nível do PoP abstrato, ocorre a representação dos processos constituintes que se comunicam entre si para cumprir uma ou mais missões do PoP, visando alcançar os objetivos estratégicos das alianças de organizações. Nesse contexto, é crucial estabelecer como a comunicação entre os processos constituintes é realizada, quais mensagens são trocadas, como essas mensagens são trocadas e a ordem de execução dessas mensagens. Além disso, é necessário definir a sintaxe, a semântica e a intenção de uso para cada mensagem trocada, ou seja, garantir que a intenção da mensagem enviada pelo processo constituinte emissor seja compatível com a mensagem utilizada pelo processo constituinte receptor.

O comportamento de cada processo constituinte é determinado por suas atividades, regras de negócio e recursos envolvidos. Cada atividade pode ser executada manualmente, parcialmente automática ou totalmente automática. Em um PoP, cada missão envolve

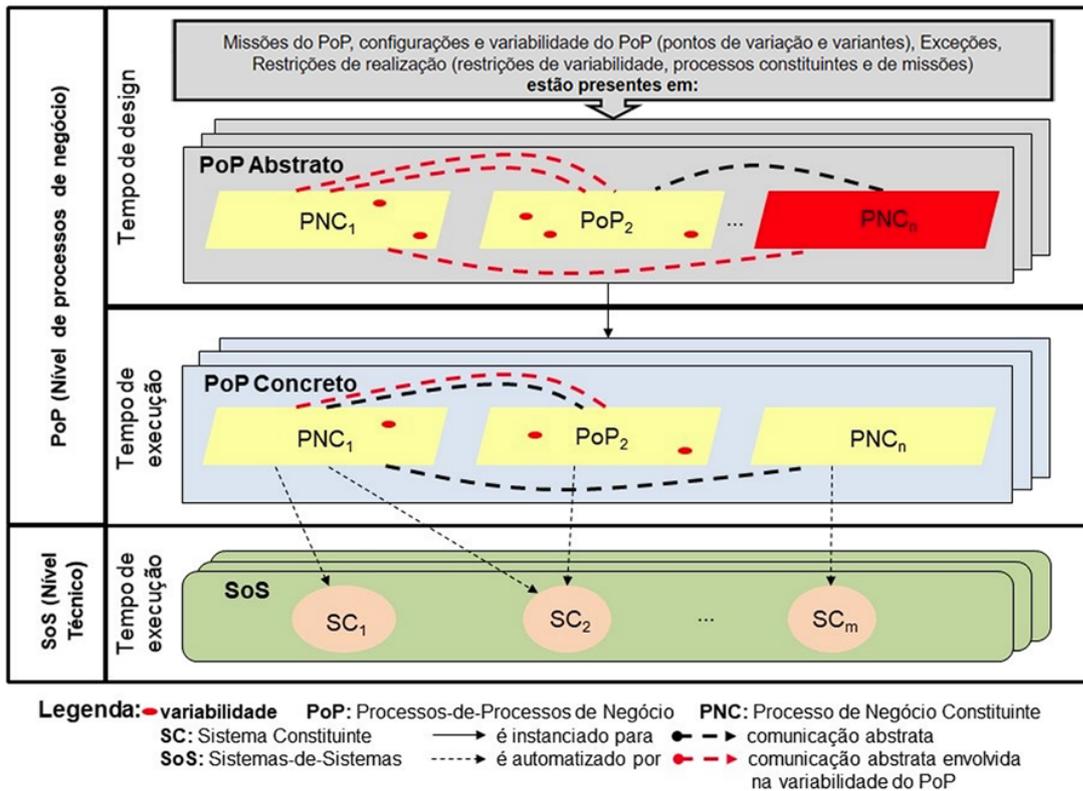


Figura 5 – Visão geral de um PoP (adaptado de Cagnin e Nakagawa (2021))

uma ou mais atividades realizadas por diferentes processos constituintes, potencialmente executadas por um sistema constituinte do SoS (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021). É importante destacar que para cumprir uma missão, podem existir diferentes caminhos de execução em um PoP, ou seja, configurações do PoP, que envolvem dois ou mais processos constituintes.

O PoP abstrato pode conter variabilidade representada por pontos de variação (ou seja, *o que* pode variar) em atividades, cujas variantes (ou seja, *como* varia) são selecionadas e realizadas durante a execução de uma configuração do PoP para alcançar uma missão. Além disso, condições de contexto podem ser associadas a variantes em tempo de *design* para estabelecer sob quais condições as variantes do PoP podem ser executadas.

Para melhor compreensão dos relacionamentos entre os elementos de um PoP, Cagnin e Nakagawa (2021) estabeleceram um metamodelo ilustrado na Figura 6. Em especial para o contexto deste trabalho de mestrado, observa-se nesse metamodelo que os processos constituintes (*Constituent_Process*) devem interoperar entre eles por meio de trocas de mensagem para alcançar a interoperabilidade. Porém, conforme análise realizada na Seção 2.4.1, os padrões utilizados para sua representação não atendem completamente o dinamismo do PoP.

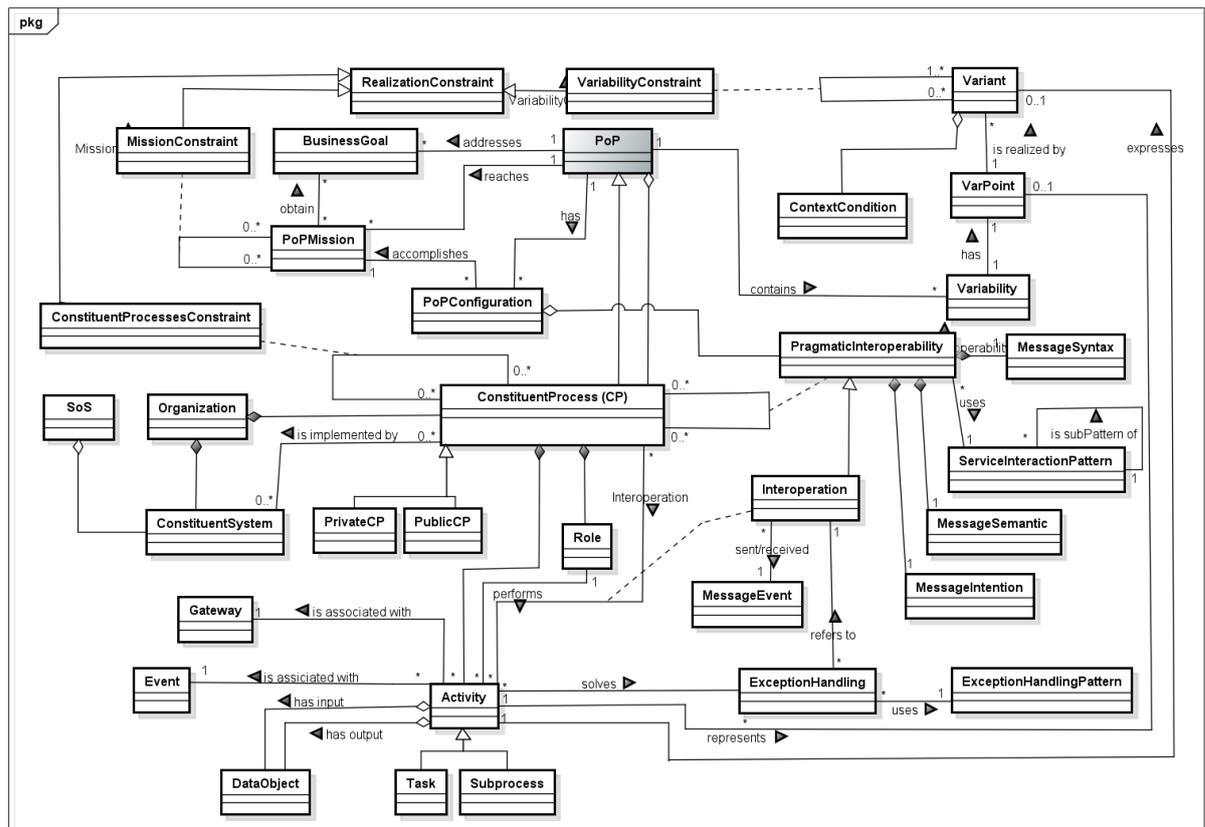


Figura 6 – Metamodelo do PoP (adaptado de Cagnin e Nakagawa (2021))

2.5.1 Modelos do PoP

Para representar PoP abstratos, são utilizados modelos específicos que são elaborados de forma incremental e iterativa, com base em informações sobre os processos constituintes, suas atividades e a comunicação entre eles para atingir determinadas missões. Portanto, uma modelagem adequada do PoP requer a identificação inicial dos elementos que o constituem. Se os modelos não estiverem claros ou se houver a necessidade de especificar novos elementos, é fundamental refiná-los para garantir uma representação precisa e completa do PoP (CAGNIN; NAKAGAWA, 2022a).

A representação do PoP abstrato pode ser feita por meio de três visões (CAGNIN; NAKAGAWA, 2022a), ilustradas na Figura 7. A **Visão Geral do PoP** engloba todas as organizações envolvidas na aliança em um alto nível de abstração, assim como os processos constituintes correspondentes de cada organização, identificando as colaborações e restrições existentes entre eles. A **Visão das Missões do PoP** representa todas as missões do PoP em um alto nível de abstração, suas restrições e como elas podem ser realizadas. A **Visão Detalhada de Missão do PoP** reflete cada missão do PoP, detalhando todas as suas configurações e restrições de variabilidade.

Cada visão do PoP possui dois tipos de modelo para representá-la, sendo um deles para representar as restrições envolvidas utilizando a notação de modelo de *features*

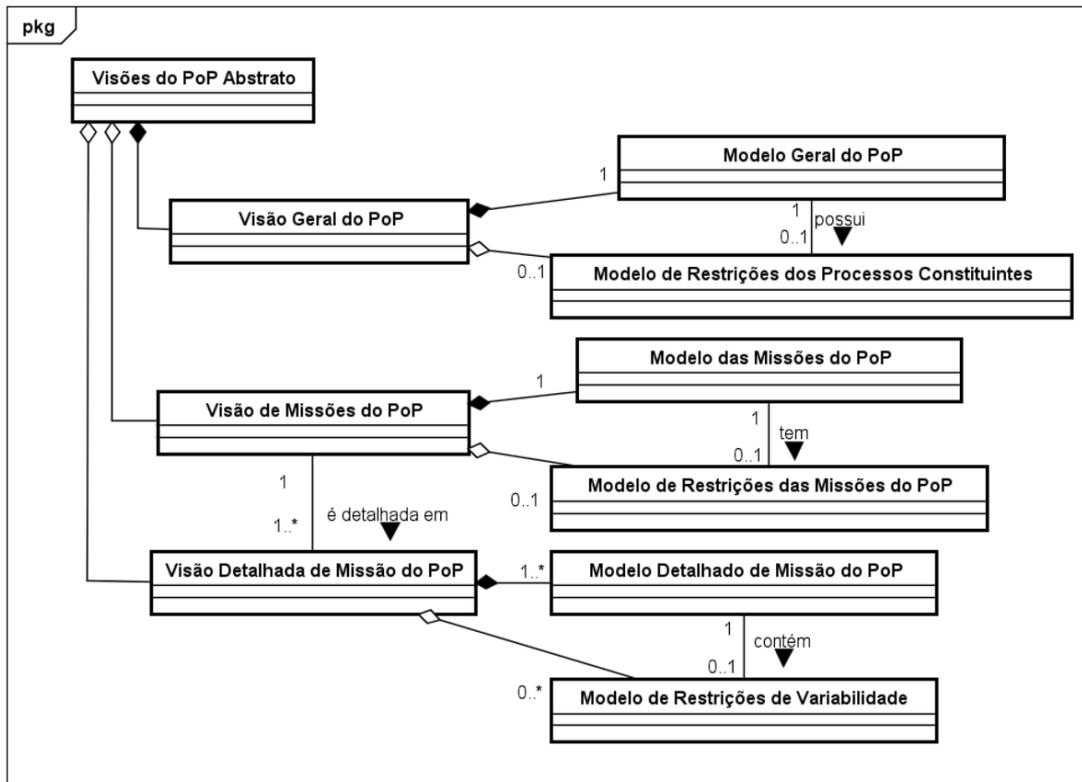


Figura 7 – Visões do PoP abstrato e seus respectivos modelos (adaptado de Cagnin e Nakagawa (2022a))

(KANG et al., 1990) ou a linguagem *Object Constraint Language* (OCL) (OMG, 2014b). Por outro lado, o outro tipo de modelo é representado em diagramas de colaboração da notação BPMN. Cada aliança poderá escolher os modelos que devem ser construídos para representar o seu PoP. A elaboração desses modelos pode ser realizada em paralelo, por meio de várias iterações (CAGNIN; NAKAGAWA, 2022a).

Para manter a relevância e a eficácia do PoP, é essencial atualizar sua modelagem abstrata sempre que ocorrerem mudanças nos objetivos de negócio devido a fatores como a entrada ou saída de uma organização membro na aliança de organizações. Isso ocorre porque as missões do PoP são fundamentadas nos objetivos de negócio, e alterações nesses objetivos podem tornar os processos existentes obsoletos, prejudicando o cumprimento das missões.

Portanto, é crucial identificar quaisquer novos elementos do PoP necessários para adaptar a execução da missão, caso ela ainda seja relevante para um objetivo de negócio atualizado. Além disso, novos processos constituintes podem precisar ser modelados para atender às novas missões identificadas a partir dos objetivos de negócio revisados.

No contexto deste trabalho, o Modelo Detalhado de Missão do PoP da Visão Detalhada de Missão do PoP será considerado como principal fonte de informação para a extração de requisitos de interoperabilidade do SoS. A principal justificativa se deve ao fato de que o Modelo Detalhado de Missão do PoP representa em baixo nível a interoperabilidade que deve ocorrer entre os processos constituintes do PoP para alcançar uma

determinada missão. A forma com que essa comunicação ocorre também pode indicar o tipo de SoS (ou seja, dirigido, reconhecido, colaborativo ou virtual (MAIER, 1998)), que também é uma informação relevante durante a extração de requisitos.

2.5.2 Exemplo de PoP

Para uma melhor compreensão de PoP, considere uma aliança de organizações que possui como objetivo estratégico de negócio ser o maior comércio virtual da América Latina. Para isso, é necessário realizar a integração de diversas organizações de diferentes setores de comércio eletrônico para fornecer uma experiência única ao usuário. Cada uma das organizações é gerencialmente e operacionalmente independente e pode estar localizada em qualquer país da América Latina.

Todas as organizações que devem colaborar para o alcance de uma determinada missão da aliança são identificadas durante a modelagem do PoP. Além disso, são mapeados os processos de negócios dessas organizações que serão essenciais para alcançar cada missão do PoP, identificando os sistemas de software que irão automatizar esses processos e os pontos de troca de mensagens.

Considerando a missão “Viabilizar a venda de produtos de diversos fornecedores para todas regiões da América Latina” da aliança de comércio virtual, são identificados três processos de negócios de organizações distintas. Cada processo é responsável por um setor relevante: Logística, Venda e Entrega de Produtos. Os sistemas de software dessas organizações, que automatizam os seus processos de negócio e que são essenciais para o alcance dessa missão, estão sucintamente descritos a seguir:

1. Sistema cliente: responsável por fornecer uma interface para o usuário realizar a seleção de produtos e realizar uma compra;
2. Sistema logístico: responsável pelo gerenciamento de produtos e estoque;
3. Sistema de entrega: responsável pela cotação de fretes com diferentes transportadoras, gerenciamento de expedição e acompanhamento de rotas; e
4. Sistema de venda: consulta os sistemas de logística e de entrega para possibilitar a venda e entrega de produtos, gerenciando os clientes e a realização de pedidos.

Neste contexto, o sistema de venda deve interoperar com os sistemas logístico e de entrega, que pertencem a organizações distintas, para que o cliente tenha a possibilidade de buscar um determinado produto no site da aliança. O produto pode pertencer a qualquer categoria de produtos que é vendida pela aliança.

Como os sistemas logístico e de entrega não foram projetados inicialmente para uma correta integração com o sistema de venda, podem ser encontradas certas problemáticas durante essa etapa, como a divergência do formato dos dados que é adotado por cada um dos sistemas, diferenças tecnológicas ou processos de negócio conflitantes que podem ocorrer devido à falhas durante a comunicação, não estabelecendo critérios para ordem de envio ou processamento das mensagens trocadas.

É importante considerar também que para o alcance da missão, novas organizações dos setores dos sistemas descritos ou de outros setores (como o setor de pagamento) podem ingressar na aliança ou uma organização membro pode deixar de fazer parte da aliança. Essas ações podem ocorrer em tempo de execução, ou seja, o SoS comércio virtual (composto pelos sistemas de venda, logístico e de entrega) deverá se adaptar a essas mudanças a todo momento. Esse dinamismo deve ser considerado durante a modelagem do PoP e também durante a especificação da interoperabilidade entre os seus processos de negócio constituintes com o intuito de mitigar os problemas mencionados desde o nível de negócio.

A Figura 8 apresenta o Modelo Detalhado da Missão “Viabilizar a venda de produtos de diversos fornecedores para todas regiões da América Latina” do PoP de comércio virtual, contendo os processos constituintes Cliente, Venda, Logística e Entrega. Em particular, quando o um Cliente realiza a busca de um produto, dependendo da sua categoria, o processo constituinte Venda realiza uma comunicação com processos constituintes de Logística que atendem determinada categoria. O tempo máximo de duração dessa comunicação é de 5 segundos. Caso um processo constituinte de Logística não retorne uma mensagem contendo os produtos esperados durante esse tempo, o fluxo de execução do processo Venda continua automaticamente apenas com as mensagens retornadas. A mesma regra é adotada no processo constituinte de Entrega ao calcular o frete.

2.5.3 Ferramenta de apoio a modelagem de PoP

Devido às características distintas que diferenciam o PoP de abordagens já existentes, foi desenvolvida uma ferramenta web com o objetivo de fornecer gerenciamento e modelagem adequados ao PoP. A necessidade dessa ferramenta surgiu devido as ferramentas existentes, como a bpmn.io³ e bizagi⁴, não modelarem de forma adequada as visões do PoP descritas na Seção 2.5.1, além de não oferecerem um gerenciamento adequado das informações sobre os PoP, como objetivos das missões, processos constituintes envolvidos para alcançar cada missão, o modelo de processos de negócio de cada processo constituinte, dentre outras.

Assim, a ferramenta *PoP Modeler* (CAGNIN; MATTIA; COSTA, 2022; CAGNIN

³ <https://bpmn.io>

⁴ <https://www.bizagi.com>

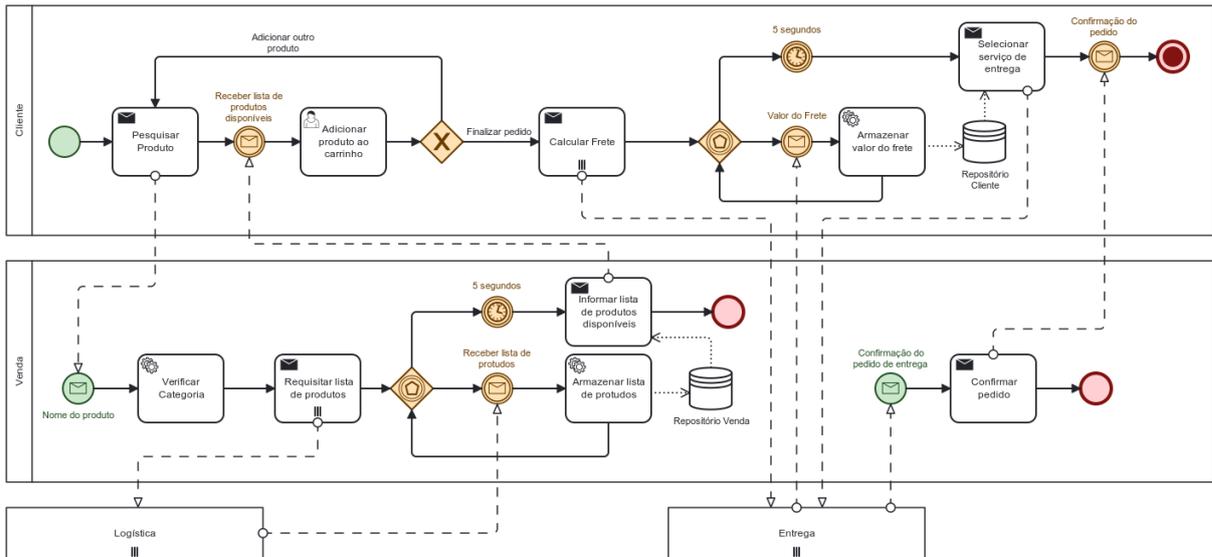


Figura 8 – Modelo Detalhado da Missão “Viabilizar a venda de produtos de diversos fornecedores para todas regiões da América Latina” do PoP comércio virtual

et al., 2023) foi desenvolvida como uma aplicação web com arquitetura cliente-servidor. A ferramenta está acessível para uso no endereço <http://popmodeler.ledes.net> e sua documentação pode ser encontrada em <http://popmodelerdoc.ledes.net>. Para sua implementação, foi desenvolvida uma API RESTful utilizando a linguagem de programação PHP e o framework Laravel Lumen⁵, com persistência de dados em um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional PostgreSQL hospedado em um ambiente Docker⁶. Quanto à interface, foi utilizada a tecnologia React, com o suporte da biblioteca Material-UI⁷.

As funcionalidades da ferramenta estão agrupadas em três módulos:

(i) Gerenciamento de Aliança (*Business Alliance Management*): Permite visualizar, editar e excluir alianças de organizações, membros de uma aliança, assim como as colaborações internas e externas à aliança.

(ii) Gerenciamento do PoP (*PoP Management*): permite visualizar, editar e excluir modelos de processo de negócio dos membros de cada aliança, criar um PoP para uma aliança, definir as missões de cada PoP, assim como os seus constituintes.

(iii) Modelagem do PoP (*PoP Modeling*): Possibilita o gerenciamento dos modelos das visões de um PoP cadastrado (Visão Geral do PoP, Visão das missões do PoP e Visão detalhada de missão do PoP), podendo criar, atualizar e salvar novos modelos ou vincular um modelo já existente.

A Figura 9 ilustra o diagrama de classes da ferramenta. As classes apresentadas em azul representam as classes criadas para desenvolver o módulo de modelagem do

⁵ <https://lumen.laravel.com/docs/10.x>

⁶ <https://docs.docker.com>

⁷ <https://mui.com/material-ui/getting-started>

PoP, enquanto que as classes em amarelo são necessárias para o gerenciamento de PoP. As classes *MissionProcess*, *ExternalCollaboration* e *InternalCollaboration* merecem destaque pois representam os relacionamentos entre processos constituintes e entre alianças de organizações. Particularmente, a classe *MissionProcess* indica os processos constituintes ou PoP pertencentes a um PoP, responsáveis pelo alcance de uma missão. Já as classes *ExternalCollaboration* e *InternalCollaboration* indicam os relacionamentos dentro de uma Aliança, especificando quais processos constituintes colaboram para o alcance das missões do PoP.

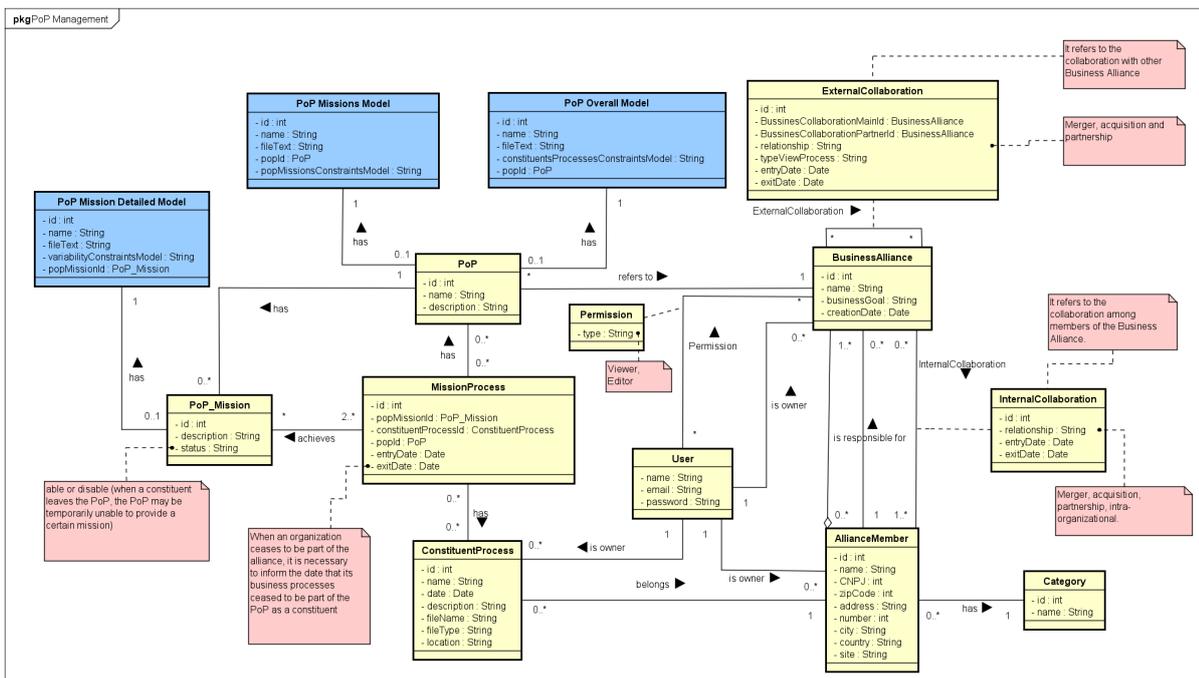


Figura 9 – Diagrama de classes da ferramenta *PoP Modeler* (adaptado de (MATTIA, 2021))

Durante o processo de desenvolvimento da *PoP Modeler*, aprimorou-se o entendimento das colaborações internas e externas entre os membros de uma aliança, bem como o conceito de processo da missão (*MissionProcess*), que pode ser um processo constituinte ou um PoP. Isso contribuiu diretamente para a evolução e construção do diagrama de classes da ferramenta (Figura 9) e sua implementação.

Os relacionamentos representados no diagrama de classes da *PoP Modeler* são cruciais para a modelagem das visões do PoP. Ao possuir os dados das alianças de negócio e seus membros constituintes cadastrados no módulo de Gerenciamento de Aliança, juntamente com os processos constituintes e PoP registrados no módulo de Gerenciamento do PoP, torna-se viável a geração automatizada das visões dos modelos do PoP. Isso é exemplificado na Figura 10, a qual apresenta a visualização de um Modelo Detalhado de Missão.

É crucial observar que a ferramenta apresenta uma limitação no processo de criação automática desses modelos. É necessário inserir manualmente o elemento BPMN “fluxo

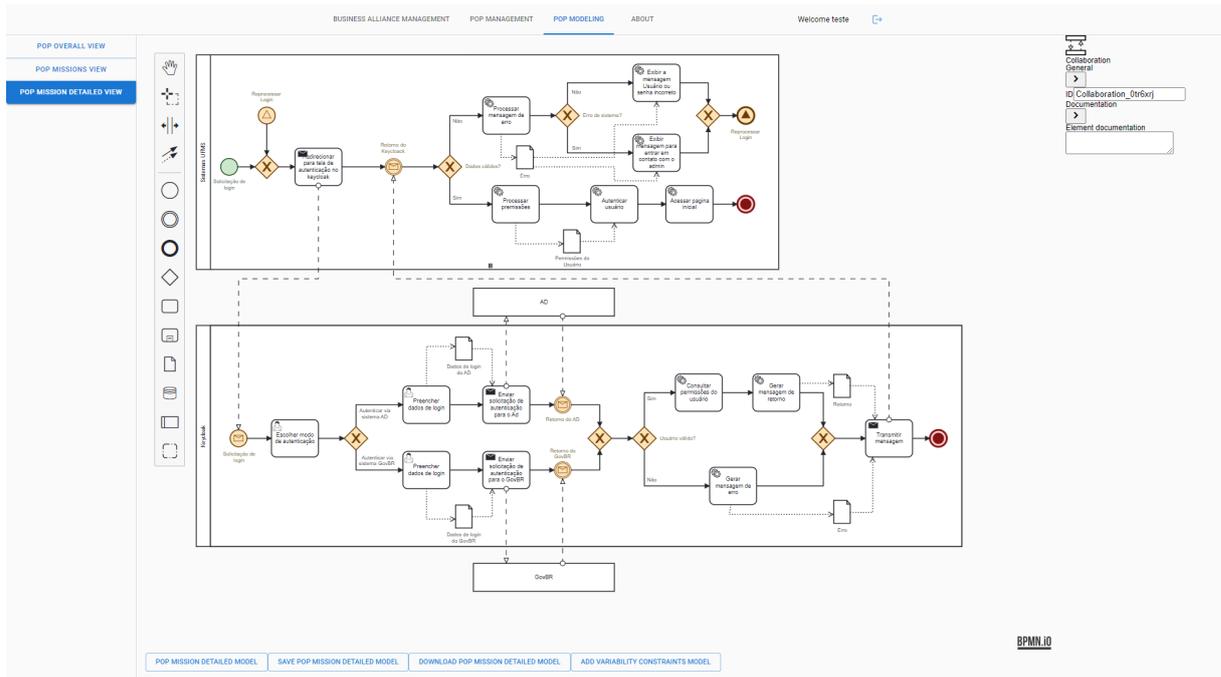


Figura 10 – Visualização do Modelo Detalhado de Missão de um cenário concreto de interoperabilidade na ferramenta *PoP Modeler*

de mensagem”, pois a identificação automatizada dos elementos de origem e destino de cada mensagem não é possível. Em outras palavras, os momentos de interoperabilidade não podem ser identificados automaticamente, uma vez que a ferramenta armazena os “*missionProcess*” (processos de negócio constituintes ou outros PoP) de forma separada, não ficando claro quais são os momentos que essas trocas ocorrem entre os constituintes. Portanto, a inserção manual dos pontos de interoperabilidade é necessária por meio do elemento BPMN “fluxo de mensagem”.

2.6 Considerações Finais

Pode-se observar neste capítulo toda a dimensão e dificuldades para que uma aliança de organizações seja formada, de modo a conseguir compreender adequadamente como os processos de negócio das organizações-membro e seus respectivos sistemas de software trabalham em conjunto (ou seja, PoP), se comunicando de maneira apropriada, para que os objetivos estratégicos desejados sejam alcançados.

No entanto, as técnicas convencionais de modelagem de processos de negócio não capturam integralmente a interoperabilidade dinâmica do PoP, o que dificulta a extração dos requisitos de interoperabilidade dos Sistemas de Sistemas (SoS) a partir do PoP, uma fonte de informação crucial para a compreensão dos negócios das alianças entre organizações.

Diante desse cenário, torna-se imperativo investigar como os requisitos de inte-

roperabilidade têm sido extraídos, especificados e validados no contexto de SoS, com o objetivo de levantar se os estudos consideram as informações valiosas dos modelos do PoP para a descoberta desses requisitos (ver Capítulo 3).

3 Trabalhos Relacionados

3.1 Considerações Iniciais

A partir de um mapeamento sistemático conduzido no âmbito deste trabalho (COSTA; PAIVA; CAGNIN, 2022), cujo planejamento e condução estão descritos no Apêndice A, foram encontrados oito estudos primários. A Seção 3.2 apresenta uma visão geral desses estudos e as Seções 3.3 até 3.7 discutem esses trabalhos quanto a tipos e elementos de interoperabilidade cobertos, fases do ciclo de vida do SoS que são consideradas, mecanismos de elicitação de requisitos de interoperabilidade de SoS que são utilizados, técnicas adotadas para especificação desses requisitos e avaliação dos mecanismos encontrados nos estudos. Por fim, a Seção 3.8 apresenta uma discussão sobre os estudos primários e a Seção 3.9 discorre sobre as considerações finais deste capítulo.

3.2 Caracterização dos trabalhos

A Tabela 3 apresenta os trabalhos relacionados encontrados nas literaturas. Ressalta-se que metade dos estudos (4 de 8) foram publicados entre 2013 e 2014 (Figura 11) e a maioria foram publicados em conferências, destacando as apoiadas pela *IEEE*, como a *International Systems Conference (SysCon)*, *International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, *International Symposium of the International Council on Systems Engineering (INCOSE)* e *Aerospace Conference (AeroConf)*.

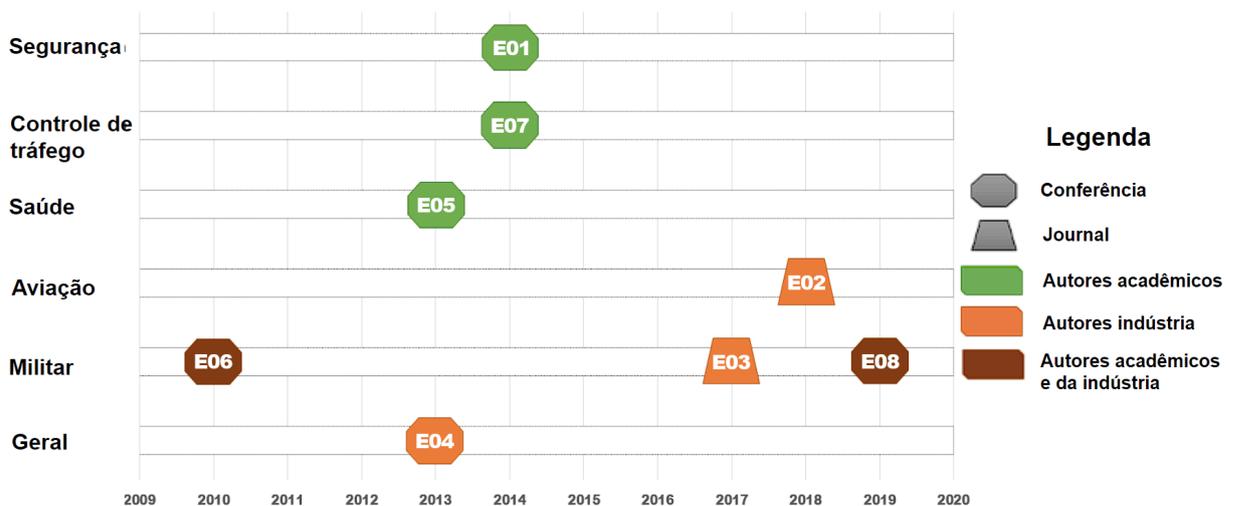


Figura 11 – Visão geral dos estudos primários

Tabela 3 – Lista dos estudos primários

ID	Ano	Tipo Publ.	Título
E01	2014	Conferência	System of Systems Capability to Requirements Engineering (LANE, 2014)
E02	2018	Periódico	Model-based Interoperability Engineering in Systems-of-Systems and Civil Aviation (MORDECAI; ORHOF; DORI, 2016)
E03	2017	Periódico	Achieving Data Interoperability of Communication Interfaces for Combat System Engineering (SEO; PARK; LEE, 2017)
E04	2013	Conferência	A Reliability-based Measurement of Interoperability for Systems of Systems (WYATT, 2014)
E05	2013	Conferência	A Model-based Framework for Architecting System-of-Systems Interoperability, Interconnectivity, Interfacing, Integration, and Interaction (MORDECAI; DORI, 2013)
E06	2010	Conferência	A Method for Examining the Impact of Interoperability on Mission Performance in a System-of-Systems (BAGDATLI et al., 2010)
E07	2014	Conferência	Context-based Ontology to Describe System-of-Systems Interoperability (BENALI; SAOUD; AHMED, 2014)
E08	2019	Conferência	Interoperability Analysis Method for Mission-oriented System of Systems Engineering (GIACHETTI; WANGERT; ELDRED, 2019)

Os estudos relacionados contemplam as áreas de segurança, controle de tráfego, saúde, aviação, militar e geral¹, sendo que a área militar é a mais explorada. Isso se deve ao fato da interoperabilidade ser amplamente utilizada para o aprimoramento da comunicação entre os sistemas militares para execução e monitoramento de missões bélicas. Os autores que são de ambos setores (academia e indústria) concentram seus trabalhos na área militar, o que pode ser justificado pelos centros de pesquisa e institutos de ensino existentes nessa área. Já ao analisar os autores apenas acadêmicos, há um trabalho na área de saúde e outros trabalhos abordando tópicos na área de segurança e controle de tráfego. Os autores da indústria possuem trabalhos apenas na área militar, o que mostra uma grande motivação em compreender e representar adequadamente a interoperabilidade nesse domínio. Salienta-se que o uso de SoS militares como exemplo é algo recorrente ao observar trabalhos que exploram a definição de conceitos de SoS (MAIER, 1998; LANE; EPSTEIN, 2013; BOARDMAN; SAUSER, 2006).

3.3 Tipos e elementos para interoperabilidade

Observa-se que todos os estudos tratam de interoperabilidade sintática e semântica, contudo apenas o E07 trata a dimensão pragmática. Detalhes da mensagem (como nome, parâmetros, tipos de parâmetros, retorno, tipo de retorno) (E01, E03, E04 e E08),

¹ Termo utilizado neste trabalho para indicar aqueles estudos que utilizam um exemplo genérico.

links de transporte² (E01, E02, E04, E05, E08) e os envolvidos na comunicação (E07) são os elementos considerados para realizar o tratamento dos tipos de interoperabilidade abordados pelos estudos.

Em todos os estudos, a comunicação sempre é abstraída para o nível mais baixo, ou seja, de forma direta entre dois sistemas constituintes do SoS, definindo assim os detalhes da mensagem (sintaxe e semântica) para que seja interpretada de forma adequada, e também o meio em que ocorrerá a comunicação bidirecional entre pares de constituintes. De maneira complementar, E07 detalha os envolvidos na comunicação que estão associados a um contexto e realizam tarefas específicas para a resolução do problema de interoperabilidade. Esse detalhamento colabora para alcançar interoperabilidade pragmática, que é mais completa, efetiva e é primordial para reforçar a colaboração interorganizacional uma vez que envolve aspectos tecnológicos e sociais (ASUNCION; SINDEREN, 2010).

3.4 Fases do ciclo de vida do SoS

Foram identificados estudos que extraem e especificam requisitos de interoperabilidade de SoS nas fases de requisitos e de projeto arquitetural do ciclo de vida de desenvolvimento de um SoS, como exibido na Tabela 4. Cada fase possui suas particularidades que podem influenciar a forma com que a descoberta e a especificação de requisitos são executadas, bem como os resultados que serão obtidos.

Tabela 4 – Fases do ciclo de vida do SoS em que os requisitos de interoperabilidade são extraídos e especificados

Fases do ciclo de vida	Elicitação	Especificação
Engenharia de Requisitos	E04	E04
Projeto arquitetural	E02, E04, E05, E06, E07, E08	E01, E02, E03, E04, E05, E06, E07, E08

Observa-se que a maioria dos estudos extrai (E02, E04, E05, E06, E07 e E08) e especifica (E01, E02, E03, E04, E05, E06, E07 e E08) requisitos de interoperabilidade do SoS na fase de projeto arquitetural, que é uma fase do ciclo de vida mais avançada do ciclo de vida do SoS e não se preocupa com o gerenciamento apropriado desses requisitos. Em particular, os estudos E01 e E03 abordam apenas a especificação. O estudo E01 realiza uma transcrição dos objetivos de capacidade de SoS em requisitos de SoS de alto nível, enquanto o estudo E03 especifica os requisitos a partir dos dados de interoperabilidade das interfaces de comunicação entre os sistemas constituintes.

Notou-se também que o E04 propõe uma solução que pode ser executada tanto na etapa de Requisitos quanto na etapa de Projeto Arquitetural, uma vez que identifica

² Um cabo, rede sem fio ou qualquer componente que cria um enlace físico na qual dados podem ser transmitidos (GIACHETTI; WANGERT; ELDRED, 2019).

as trocas de mensagens e de dados entre pares de constituintes e registra o resultado em uma matriz. Essa matriz lista todos os meios de comunicação, o desempenho obtido para realizar as trocas de mensagem e as responsabilidades de cada sistema constituinte. Esses dados são comparados para decidir qual a melhor forma de um constituinte se comunicar com o outro de modo bidirecional.

Os resultados apontados evidenciam a carência de trabalhos sobre elicitación e especificación de requisitos de interoperabilidade de SoS durante a etapa de requisitos visto que os estudos na área de SoS ainda estão bastante concentrados no nível arquitetural (CADAVID; ANDRIKOPOULOS; AVGERIOU, 2020).

Contudo, na formação de alianças de organizações, que têm sido cada vez mais comum, se torna necessário avaliar a viabilidade do processo, seja ele fusão, aquisição ou parceria, e para isso é necessário analisar a forma com que os sistemas que até então são independentes gerencialmente e operacionalmente, vão interagir entre si para alcançar os objetivos estratégicos da aliança.

Diante disso e considerando que SoS possui desenvolvimento evolucionário como uma característica peculiar, é primordial extrair e especificar os requisitos de interoperabilidade durante a etapa de requisitos do ciclo de vida do SoS, para que os requisitos sejam gerenciados de maneira apropriada, com técnicas específicas para isso.

3.5 Mecanismos para elicitación de requisitos de interoperabilidade de SoS

Ao analisar os mecanismos de elicitación (Tabela 5), observa-se que os estudos E02 e E08 utilizam mecanismos que analisam as atividades operacionais de cada sistema constituinte e as respectivas missões previstas do SoS, com o objetivo de identificar quais são as informações e dados que precisam ser compartilhados entre cada par de constituintes para realizar essas atividades e missões.

No estudo E04, a extração dos requisitos de interoperabilidade do SoS é feita a partir de requisitos não funcionais de confiabilidade, que são obtidos ao analisar a troca de recursos entre um par de sistemas constituintes, observando a probabilidade de que a troca de recursos atenda a requisitos de desempenho, por exemplo, dentro de um intervalo de tempo ou a distância geográfica entre os constituintes. Cada troca de recurso, necessária para realizar a interoperabilidade entre os constituintes, é representada em uma matriz $n \times n$, denominada Matriz de Interoperabilidade de Transferência de Recursos, sendo que n é o número de diferentes tipos de sistemas constituintes na arquitetura do SoS.

No estudo E05, a extração é feita a partir de metamodelos obtidos em modelos de referência, que representam as partes funcional, estrutural e procedimental de cada

sistema constituinte, bem como informações sobre a interoperabilidade entre eles. Esses modelos de referência são criados a partir da metodologia OPM (*Object-Process Methodology*), que inicialmente identifica os sistemas constituintes e, posteriormente, aprofunda no detalhamento da interoperabilidade (sintática e semântica) entre eles.

O estudo E06 extrai os requisitos a partir de modelagens e simulações. A modelagem é baseada em agentes, que é um tipo de modelagem computacional na qual os sistemas constituintes são representados como agentes independentes do SoS. Os agentes podem examinar simultaneamente os efeitos do desempenho do sistema, interoperabilidade, conceitos ou regras operacionais no sucesso da missão do SoS. Efeitos de desempenho ao executar as trocas de informações entre os constituintes, interoperabilidade, conceitos e regras operacionais são analisados por uma ferramenta de apoio à tomada de decisões com base no resultado da simulação dos modelos obtidos na modelagem. Essa análise permite verificar o cumprimento ou não das missões do SoS, analisar o impacto da interoperabilidade no desempenho da missão e, caso necessário, efetuar alterações nas comunicações entre os constituintes. Em seguida, os requisitos de interoperabilidade do SoS são extraídos com base nos resultados retornados pela ferramenta.

Por fim, o E07 utiliza uma ontologia baseada em contexto como fonte de informação. Essa ontologia fornece uma relação direta entre os problemas de interoperabilidade e suas respectivas soluções, auxiliando na extração dos requisitos de interesse do SoS.

Tabela 5 – Mecanismos e fontes de informação utilizados nos estudos primários

ID	Mecanismos	Fontes de informação
E02, E08	Análise das funcionalidades e missões do SoS	Atividades Operacionais, Missões
E04	Extração a partir de requisitos não funcionais	Requisitos de Confiabilidade
E05	OPM (<i>Object-Process Methodology</i>)	Modelos de referência de integração e interoperabilidade
E06	Modelagem e Simulações	Missões do SoS
E07	Ontologia baseada em contexto	Contexto

É possível notar que os mecanismos encontrados para extração dos requisitos de interoperabilidade utilizam informações obtidas em artefatos relacionados à responsabilidades e composição dos sistemas constituintes dentro do contexto do SoS. Esses mecanismos são comumente aplicados em uma etapa mais avançada do ciclo de vida do processo de desenvolvimento (Seção 3.4), pois o principal interesse dos estudos está concentrado em representar, em nível arquitetural, *como* a interoperabilidade deve ser realizada para alcançar as missões do SoS. Entretanto, nenhum estudo utiliza a informações presente nos modelos do PoP para extrair os requisitos de interoperabilidade de SoS.

3.6 Técnicas para especificação de requisitos de interoperabilidade de SoS

A lista de técnicas de especificação de requisitos de interoperabilidade de SoS encontradas nos estudos é apresentada na Tabela 6. Pode-se destacar a criação de uma Matriz de Interoperabilidade (E01, E04, E06 e E08) para especificar os requisitos. Em particular, os estudos E01, E04 e E06 utilizam esse tipo de matriz para classificar os níveis de interoperabilidade entre dois sistemas constituintes do SoS assim como sua maturidade, criando uma visualização da interoperabilidade em todos os tipos pretendidos. Os estudos E02, E03, E05, E07 e E08 utilizam outras técnicas para especificação.

O E02 e E05 representam os requisitos de interoperabilidade em um diagrama OPD (*Object-Process Diagram*), destacando os links de interoperabilidade necessários para alcançar as missões do SoS de acordo com o tipo de interoperabilidade desejado. O E02 obtém os links de interoperabilidade a partir da análise das entradas e saídas realizadas pelos sistemas constituintes, enquanto o E05 se baseia nos atributos de interface, integração, interação e interconectividade.

O E03 especifica os requisitos de interoperabilidade de modo textual em um documento de controle de interfaces. Esse documento possui todas as regras de comunicação entre os sistemas constituintes e representa a comunicação por meio de sinais e mensagens. Já o estudo E07 documenta os requisitos a partir da instanciação da Ontologia baseada em Contexto, especializando os contextos presentes na ontologia que afetam a interoperabilidade do SoS cujos requisitos estão sendo especificados.

O estudo E08 também especifica os requisitos de interoperabilidade em modelos criados durante a Engenharia de Sistemas baseada em Modelos, com foco em descrever a relação da sequência de operações, seus respectivos atributos e fluxos.

Assim, pode-se observar que as técnicas encontradas na maioria dos estudos (E01, E03, E04, E06, E07 e E08) especificam os requisitos de interoperabilidade de modo textual. Destacando-se a representação por meio de uma matriz de interoperabilidade, que traz uma sintetização dos resultados mais relevantes possibilitando a análise dos relacionamentos entre os constituintes assim como suas dependências e responsabilidades de modo facilitado. Já os estudos E02 e E05 utilizam técnicas que trazem uma especificação gráfica por meio de diagramas que utilizam a notação da linguagem OPL (*Object-Process Language*). Por fim, os estudos não fornecem diretrizes para especificar os requisitos considerando as particularidades dos diferentes tipos existentes de interoperabilidade.

Tabela 6 – Técnicas utilizadas para especificação dos requisitos de interoperabilidade

ID	Notação	Técnica
E01, E04, E06, E08	Textual	Matriz de Interoperabilidade
E02, E05	OPL (<i>Object-Process Language</i>)	OPD (<i>Object-Process Diagram</i>)
E03	Textual	Documento de controle de interfaces
E07	Textual	Ontologia baseada em Contexto
E08	Não indicada	Modelos criados pela Engenharia de Sistemas baseada em Modelos

3.7 Avaliação dos mecanismos de elicitação e avaliação dos requisitos de interoperabilidade de SoS

Todos os estudos adotaram estudo de caso como método de avaliação dos mecanismos de extração de requisitos de interoperabilidade de SoS. Em particular, os estudos de caso representam uma problemática real nas áreas de segurança, controle de tráfego, saúde, aviação e militar, conforme indicadas na Seção 3.2. Além disso, nenhum estudo deixou claro se os requisitos de interoperabilidade do SoS, tratados nos trabalhos, foram validados. Portanto, não foi possível evidenciar os critérios e as técnicas utilizadas para validar os requisitos de interoperabilidade de SoS.

3.8 Discussões

Ao observar os desafios da Engenharia de Requisitos de SoS apontados por Ncube e Lim (NCUBE; LIM, 2018), nota-se que há dificuldade para identificar os requisitos não funcionais apropriados para auxiliar no estabelecimento de uma arquitetura adequada para SoS, uma vez que os sistemas constituintes por serem independentes gerencialmente e operacionalmente e se comunicarem com outros SoS de modo concorrente e dinâmico, faz com que as soluções tradicionais presentes na Engenharia de Requisitos sejam incompletas para tratar de maneira apropriada essas particularidades (NCUBE; LIM, 2018).

A partir dos trabalhos relacionados, observou-se que esse desafio ainda persiste. Os estudos descrevem poucos detalhes acerca do modo com que a comunicação entre os constituintes e com outros SoS externos é realizada, além de como readequar a comunicação de acordo com a evolução do SoS que ocorre de forma dinâmica dificultando a descoberta e a especificação adequada desses requisitos.

Também é possível notar que não existe uma relação direta entre os mecanismos propostos para tratar os requisitos de interoperabilidade nos estudos encontrados, já que foram encontradas soluções distintas para elicitar e especificar requisitos de interoperabilidade de SoS. Dessa forma, não foi detectada uma metodologia mais direcionada a ser seguida para realizar a extração e elicitação desses requisitos. Também não foi identificado

um formato padrão para especificá-los.

Outro desafio identificado por Ncube e Lim (NCUBE; LIM, 2018) é a dificuldade para desenvolver técnicas e ferramentas de Engenharia de Requisitos de SoS que resolvam a problemática de escalabilidade dinâmica, na qual o SoS se expande no escopo funcional e estrutural, uma vez que os sistemas constituintes, por serem independentes, acabam adotando uma arquitetura que favoreça os seus objetivos particulares e não os propósitos do SoS (NCUBE; LIM, 2018).

Nesse contexto, observa-se que os estudos não tratam apropriadamente a problemática de escalabilidade dinâmica pois consideram apenas a comunicação bidirecional entre os sistemas constituintes que pertencem a um SoS, porém não levam em consideração que um constituinte pode se comunicar, em paralelo, com outros SoS e pode haver restrições entre os constituintes que impedem ou dificultam a comunicação entre eles.

Além disso, os trabalhos relacionados não se preocupam com cenários distintos de interoperabilidade para suprir as comunicações necessárias quando sistemas constituintes deixam de oferecer as capacidades essenciais para o cumprimento das missões do SoS.

Notou-se também que os tipos de interoperabilidade encontrados nos estudos são recorrentes na literatura, sendo que a interoperabilidade semântica e a interoperabilidade pragmática têm sido mais exploradas (SANTOS; PINHEIRO; MACIEL, 2021). Contudo, apenas o estudo E07 tratou os requisitos de interoperabilidade no nível pragmático, mostrando assim que esse tipo de interoperabilidade necessita ser mais investigado no contexto de extração de requisitos de SoS.

3.9 Considerações Finais

Este capítulo apresentou as técnicas que estão sendo utilizadas para extrair e especificar requisitos de interoperabilidade de SoS. Observou-se que os estudos existentes estão concentrados em soluções para extração e especificação desses requisitos em nível arquitetural. Portanto, há urgência de pesquisas para o estabelecimento de métodos e técnicas adequados para a Engenharia de Requisitos de Interoperabilidade de SoS, com ênfase em adequar as soluções em uma fase específica do ciclo de vida de desenvolvimento, que antecede o projeto arquitetural (ou seja, Requisitos), e levando em consideração os diferentes tipos de interoperabilidade, o dinamismo da comunicação entre os sistemas constituintes e o alinhamento entre os níveis de negócio e técnico. Esse alinhamento favorece o entendimento da comunicação necessária entre os constituintes para cumprir as missões do SoS e, conseqüentemente, para alcançar os objetivos estratégicos das alianças de organizações.

4 Cenários Abstratos de Interoperabilidade em PoP

4.1 Considerações Iniciais

O presente capítulo constitui uma análise aprofundada de cenários concretos e abstratos que visam representar a interoperabilidade entre processos constituintes. Para tal propósito, foram modelados cenários concretos, conforme apresentados na Seção 4.2, com o intuito de compreender a maneira como a interoperabilidade em PoP reais é representada na notação BPMN. Durante essa modelagem observou-se quais elementos BPMN são utilizados para a representação adequada da interoperabilidade em PoP.

A partir da análise dos cenários concretos modelados, identificou-se um padrão superficial na representação da interoperabilidade nos cenários concretos investigados, que não contemplava variantes, tratamentos de exceções, multiplicidade de mensagens ou de constituintes. Em resposta a essas lacunas, foram elaborados seis cenários abstratos e uma variante, apresentados na Seção 4.3, com o objetivo de facilitar a modelagem da interoperabilidade em PoP e fornecer suporte para situações não abordadas nos cenários concretos.

Após a definição dos cenários abstratos, realizou-se uma avaliação com especialistas em BPMN, com o objetivo de analisar se os cenários definidos estão adequados em relação à sua representação. O planejamento e os resultados dessa avaliação são reportados na Seção 4.4.

Com base nos resultados da avaliação conduzida, observou-se a oportunidade de realizar refinamentos nos cenários abstratos propostos e, em seguida, realizou-se a extensão do metamodelo do PoP, conforme apresentado na Seção 4.5, a fim de adequá-lo para incorporar as classes da especificação BPMN [OMG \(2014a\)](#) correspondentes aos elementos BPMN utilizados para modelar a interoperabilidade nos cenários abstratos. Esse metamodelo estendido servirá como um dos artefatos base a serem utilizados para a extração dos requisitos de interoperabilidade de SoS. Por fim, na Seção 4.6 são descritas as considerações finais deste capítulo.

4.2 Cenários Concretos

Inicialmente, realizou-se a modelagem de cenários concretos para analisar a forma com que a interoperabilidade comumente ocorre em PoP reais automatizados por SoS. Para isso, o grupo de pesquisa de PoP da Facom/UFMS estabeleceu parceria com a

Embrapa Gado de Corte e com a Agência de Tecnologia da Informação e Comunicação (Agetic) da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Durante a parceria, esteve presente o Supervisor do Núcleo de Tecnologia da Informação da Embrapa e três analistas de sistemas da Agetic.

Esta parceria resultou na descoberta e modelagem de três cenários concretos de PoP. Cada cenário foi modelado utilizando elementos da notação BPMN (OMG, 2014a) para representar de maneira adequada a interoperabilidade entre os processos constituintes envolvidos. Como contrapartida, foram disponibilizados para cada instituição parceira os modelos de processos de negócio dos seus cenários concretos.

Na primeira reunião com cada órgão foi apresentado o objetivo do projeto. Além disso, foi oferecida uma breve formação sobre os conceitos de SoS e PoP para que os representantes de cada órgão fornecessem as informações necessárias para identificar as missões e a estruturação do SoS dentro de suas organizações. Com base nessas informações, os cenários concretos de PoP puderam ser identificados e modelados.

Todo o processo de descoberta e modelagem dos cenários concretos foi realizado seguindo a técnica de prototipação (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013). Para entender cada cenário concreto, foram realizadas entrevistas com os representantes de cada órgão que são especialistas no domínio do negócio dos cenários.

Durante as entrevistas, os especialistas forneceram detalhes sobre os sistemas constituintes, suas principais funcionalidades e particularidades sobre a integração entre esses sistemas para a troca de mensagens. Após cada entrevista, foram feitas reuniões entre os membros do grupo de pesquisa de PoP para refinamento das informações coletadas e prototipação dos modelos dos PoP correspondentes a cada cenário concreto. Posteriormente, em uma outra reunião com os especialistas, os modelos produzidos foram apresentados para serem validados e refinados.

As primeiras entrevistas com os especialistas resultaram na concepção de processos de negócio independentes (ou seja, processos constituintes do PoP) em que um sistema constituinte de um SoS era responsável por sua automação. A próxima seção apresenta o cenário concreto de um PoP da Embrapa Gado de Corte, pois este cenário apresenta diversas maneiras para representar a interoperabilidade em PoP. Os dois cenários concretos da Agetic estão apresentados no Apêndice C.

4.2.1 Cenário concreto: PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

O cenário concreto do PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta da Embrapa Gado de Corte cuja principal missão é “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal” se

refere a um projeto que foi apresentado no Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (ConBAP'2022). O objetivo geral do projeto é aumentar a produtividade promovendo ganhos nos índices de bem-estar animal por meio da aplicação de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (SPERANZA; VISOLI; CARROMEU, 2022).

Neste projeto, foi realizada a implementação do SoS Integração lavoura-pecuária-floresta que fará coletas, processamento e disponibilização de índices em tempo real que irão auxiliar a promover ações para o ganho de bem-estar animal e da qualidade dos produtos entregues por meio do manejo adequado desses animais.

Para viabilizar o processamento desses índices, é necessário realizar a coleta de dados vitais dos bovinos, dados de sua rotina, assim como dados do ambiente em que estão inseridos (SPERANZA; VISOLI; CARROMEU, 2022). O SoS é composto por cinco sistemas constituintes principais (ou seja, *BallPass*, BEP - *Bovine Electronic Platform*, ECOD3, Dojot e aplicativo mobile), que estão descritos nesta seção e ilustrados na Figura 12. Cada sistema constituinte fornece funções específicas para o SoS e possui a capacidade de operar de modo independente.

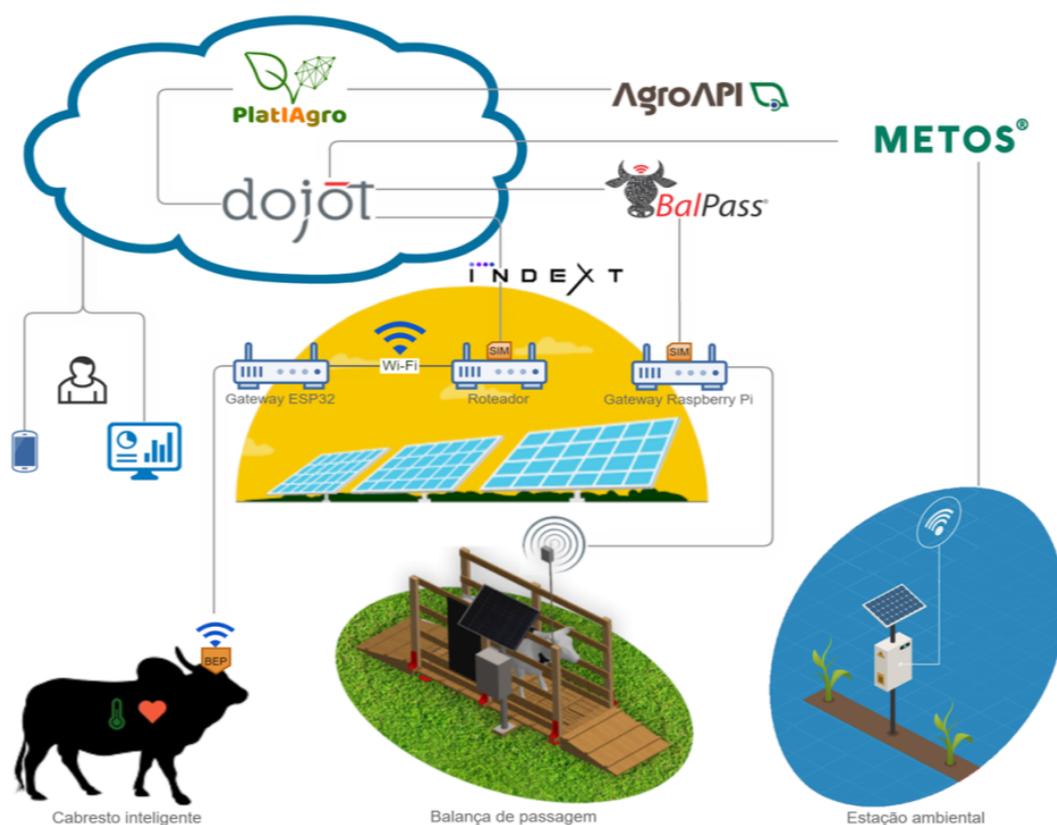


Figura 12 – Visão ilustrada dos constituintes e seus relacionamentos - SoS Integração lavoura-pecuária-floresta (SPERANZA; VISOLI; CARROMEU, 2022)

O constituinte *BallPass* tem como função realizar a coleta do peso do bovino utilizando uma balança de passagem, ou seja, toda vez que o animal passar pela balança, seu peso será registrado. Para que isso seja possível, o animal possui um brinco com sua identificação e a balança possui sensores que detectam o momento que o animal está

passando, assim como sua identificação, e faz o registro dos dados em uma lista temporária. Em um momento oportuno, a balança realiza a transmissão desta lista temporária para um *gateway*¹ que fará o controle de armazenamento em um repositório local e transmissão dos dados para a empresa responsável da balança (COIMMA) que, por sua vez, fará o tratamento dos dados. Todo o funcionamento do constituinte *BallPass* está representado no modelo de processo de negócio exibido na Figura 13.

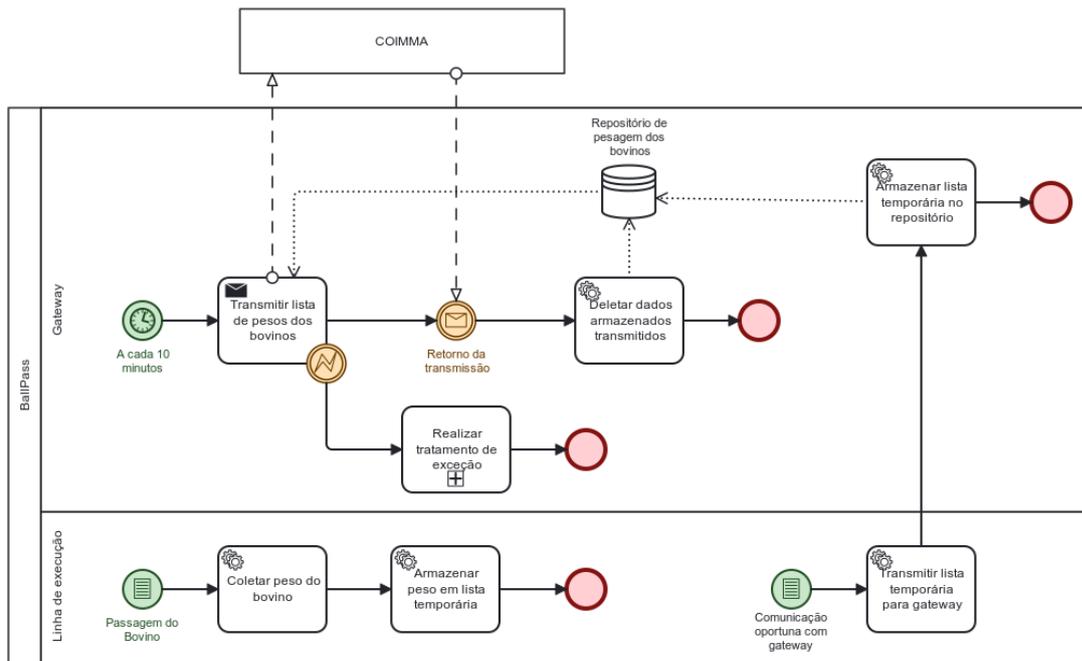


Figura 13 – Modelo de processo de negócio do constituinte *BallPass*

O constituinte BEP tem como função realizar a coleta de dados vitais do animal. Para isso é necessário que o bovino possua um cabresto digital que irá fazer a coleta de informações como frequência cardíaca e respiratória, temperatura do pelame e quantidade de incidência de radiação ultravioleta. Quando o bovino passar próximo a um receptor, o dispositivo realiza a transmissão dos dados para uma lista temporária, que por sua vez também será transmitida para o *gateway* que fará o controle de armazenamento para um repositório local e transmissão dos dados para a empresa responsável pela tecnologia (INDEXT). A partir disso, um sistema de software dessa empresa armazena e processa todos os dados coletados, agrupando-os por bovino. Todas as funções do constituinte BEP estão modeladas no modelo de processo de negócio apresentado na Figura 14.

O constituinte ECOD3 é uma estação de coleta de dados de ambiente e fica localizada em um ponto estratégico para facilitar a coleta e transmissão de dados que é feita por sua empresa responsável (METOS). Os dados coletados são de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. Seu funcionamento também é de forma independente e está representado no modelo de processo de negócio exibido na Figura 15.

¹ Unidade responsável por receber, armazenar e transmitir dados locais para um repositório na nuvem.

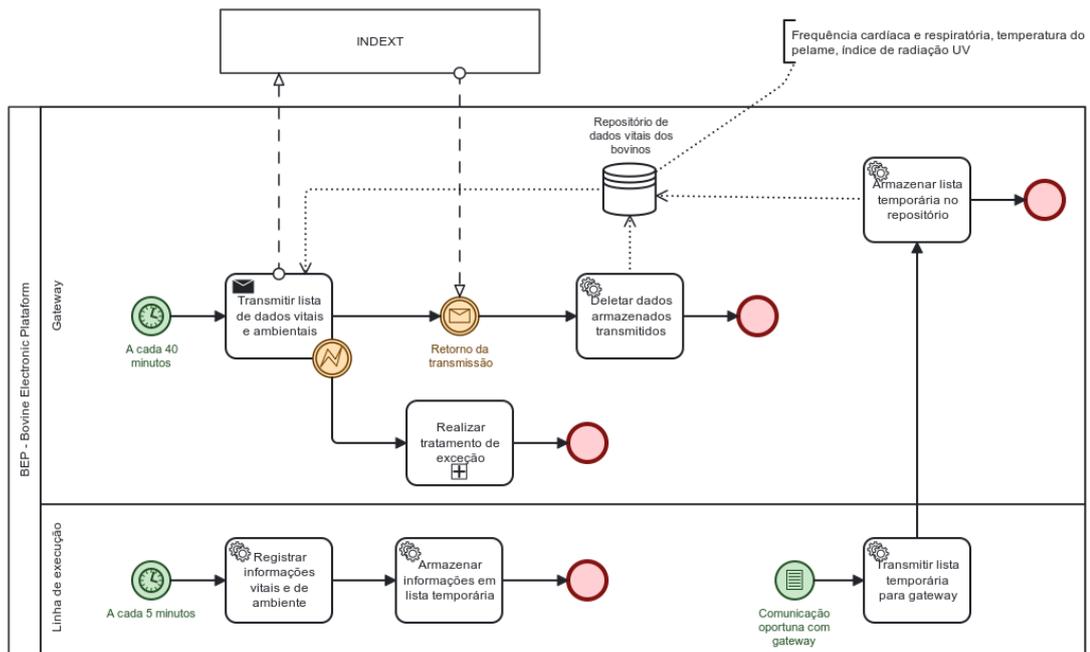


Figura 14 – Modelo de processo de negócio do constituinte BEP

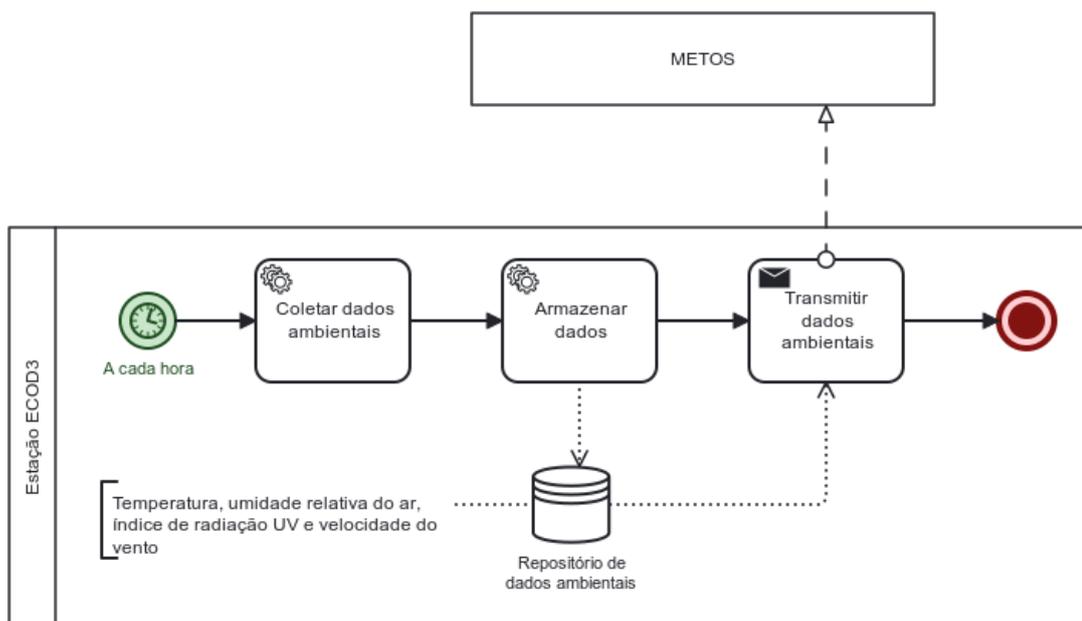


Figura 15 – Modelo de processo de negócio do constituinte da Estação ECOD3

Dojot é o principal constituinte para viabilizar o alcance das missões do SoS Integração lavoura-pecuária-floresta, uma vez que é responsável por realizar a comunicação com todos os constituintes descritos anteriormente para coletar os dados já filtrados e processados. Além disso, realiza um armazenamento centralizado dos dados coletados para disponibilizá-los para o processamento dos indicadores que geram os índices de bem-estar animal. Para isso, o Dojot executa de forma paralela um *IOT Agent* para cada constituinte, assim como realiza a integração com outro constituinte pertencente a Embrapa denominado *CPqD PlatIAgro*. Esse constituinte da Embrapa recebe um conjunto de dados

para processamento e retorna os indicadores, que por sua vez são armazenados para consultas posteriores em um aplicativo mobile. Detalhes do funcionamento do constituinte Dojot são apresentados no modelo de processo de negócio mostrado na Figura 16.

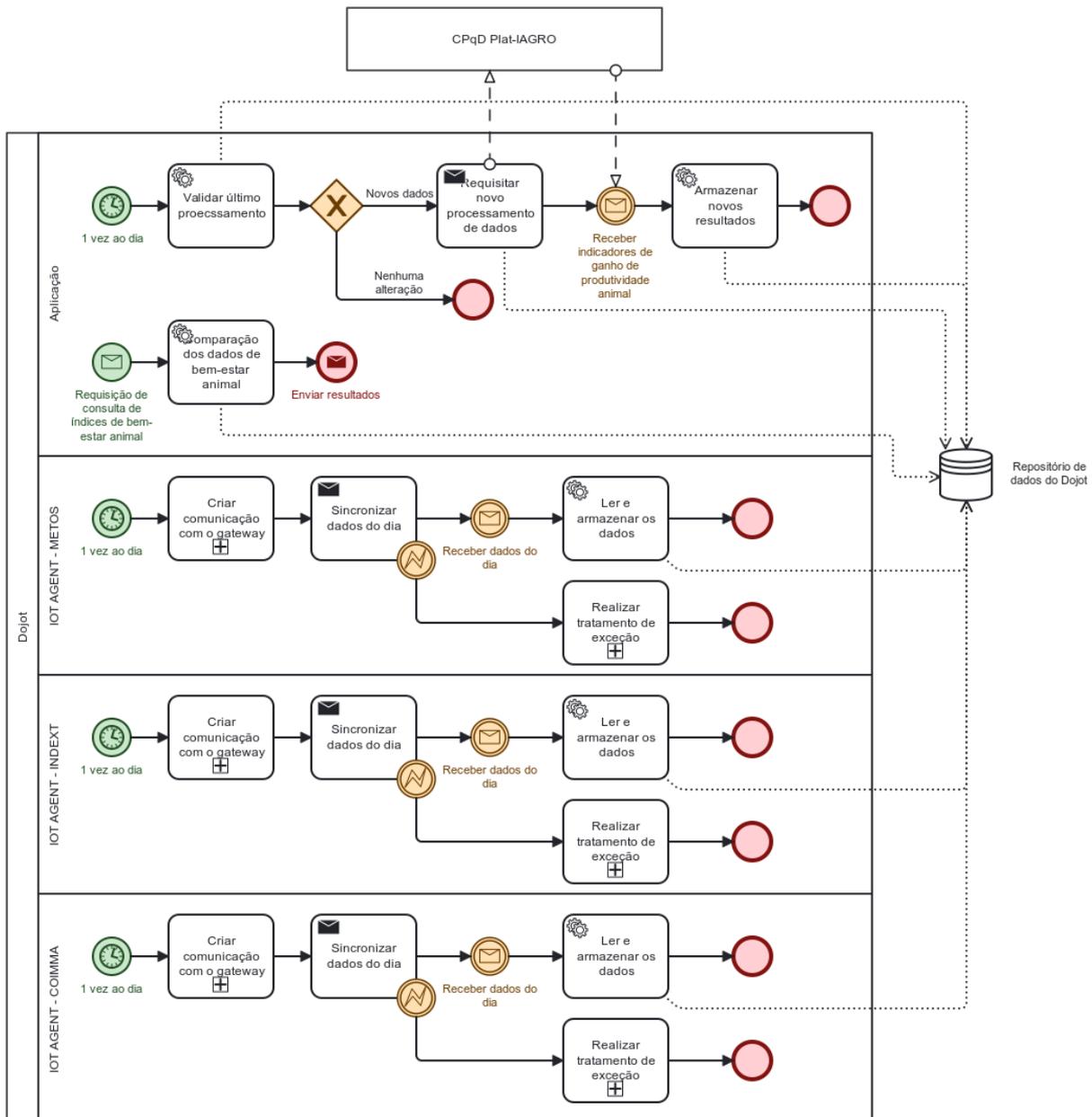


Figura 16 – Modelo de processo de negócio do constituinte Dojot

O aplicativo mobile é responsável pela visualização dos indicadores gerados anteriormente e permite gerar novos processamentos dos dados para um acompanhamento mais apurado em tempo real. Para isso, o usuário (administrador, produtor rural ou pesquisador) deve realizar uma autenticação no sistema, conforme representado no modelo de processo de negócio ilustrado na Figura 17.

Ao analisar individualmente os processos de negócio dos processos constituintes do PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração

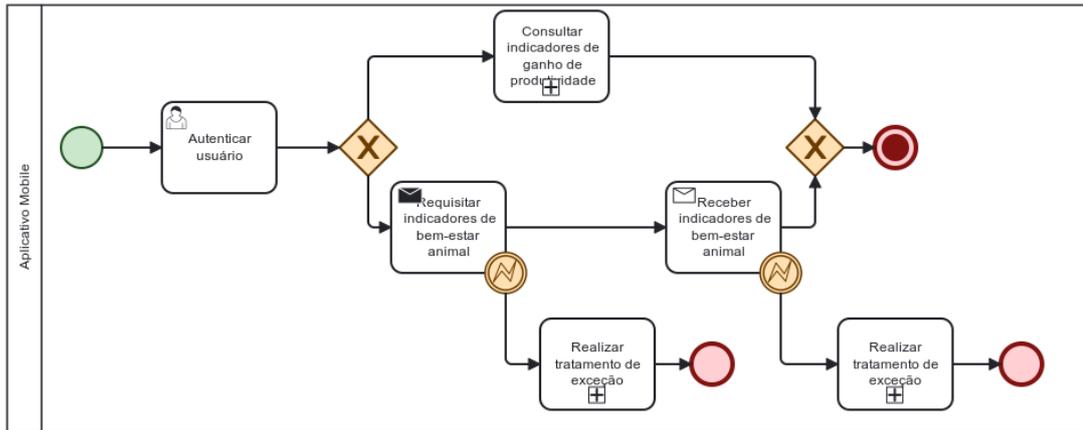


Figura 17 – Modelo de processo de negócio do aplicativo mobile

lavoura-pecuária-floresta, é possível identificar diversos relacionamentos e trocas de mensagens ocorrendo dentro de cada constituinte. Entretanto, a interoperabilidade entre esses constituintes, crucial para alcançar as missões deste PoP e, por conseguinte, do SoS que o automatiza, não é claramente visível nas modelagens existentes.

Para abordar essa lacuna e modelar os processos de negócio de todos os constituintes necessários para atingir a missão específica de “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal”, torna-se essencial recorrer ao Modelo Detalhado de Missão do PoP (CAGNIN; NAKAGAWA, 2022a). A utilização deste modelo permitirá a descoberta e o mapeamento de todos os pontos de interoperabilidade que devem existir entre os constituintes, proporcionando uma compreensão abrangente e estruturada das relações necessárias para o alcance das missões.

O Modelo Detalhado de Missão do PoP proporciona uma visão de todos os processos de negócio constituintes essenciais para alcançar uma missão específica, representando cada constituinte como uma piscina e cada troca de mensagem entre eles como um ponto de interoperabilidade. A Figura 18 ilustra o Modelo Detalhado da Missão “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal” do PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.

Em mais detalhes, o Modelo Detalhado de Missão do PoP traz diversas informações importantes como os pontos exatos em que haverá uma colaboração entre os constituintes, como as falhas que ocorrem nessa comunicação devem ser tratadas, qual é a multiplicidade das mensagens enviadas ou recebidas e quais restrições estão associadas a elas, como um limite de tempo.

Como o Modelo Detalhado de Missão do PoP possui um nível de detalhamento maior, é possível utilizar o Modelo Geral do PoP para abstrair as informações e visualizar de modo geral todos os constituintes que compõem o PoP, assim como os relacionamentos e pontos de troca de mensagens entre eles. A Figura 19 apresenta o Modelo Geral do PoP em questão.

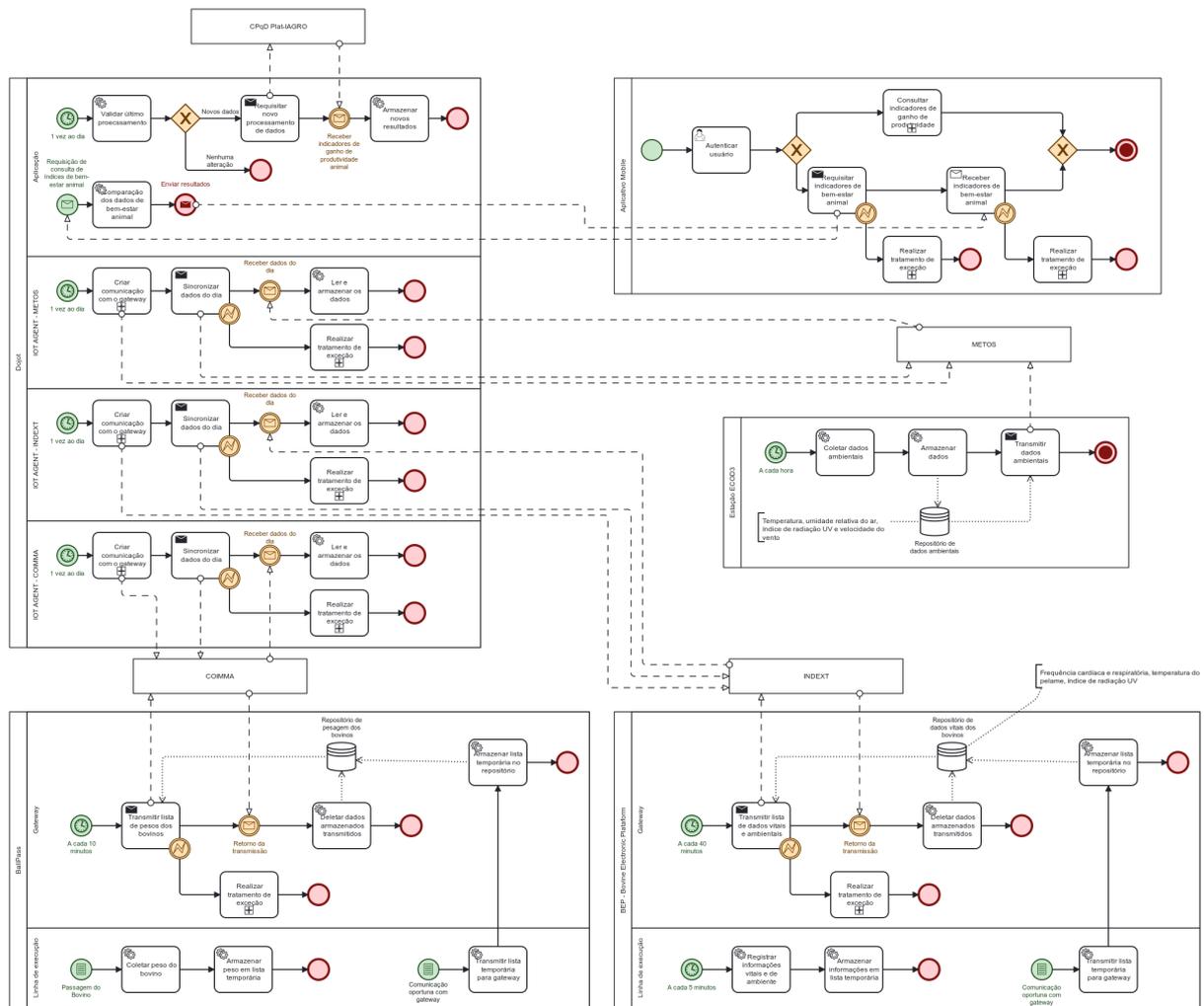


Figura 18 – Modelo detalhado da missão “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal” do PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

4.3 Cenários Abstratos

Durante a modelagem dos cenários concretos de interoperabilidade, notou-se um padrão na forma com que as mensagens foram estruturadas e enviadas entre os constituintes do PoP. A partir disso, os cenários abstratos de interoperabilidade foram definidos neste trabalho com o objetivo de oferecer aos analistas de negócio do PoP diversas formas de modelar adequadamente a troca de mensagens entre dois constituintes distintos no contexto de PoP. Consequentemente, os cenários abstratos facilitam na elaboração do Modelo Geral do PoP e do Modelo detalhado de Missão do PoP.

Para a concepção dos cenários abstratos, além do conhecimento obtido com a elaboração dos cenários concretos da Embrapa e Agetic, também foram utilizados como base os padrões de coreografia (WESKE, 2019) e exemplos de coreografias da especificação BPMN 2.0 (OMG, 2014a) para o contexto de PoP dirigido, ou seja, quando os processos constituintes são controlados por uma autoridade central, isto é, por um processo domi-

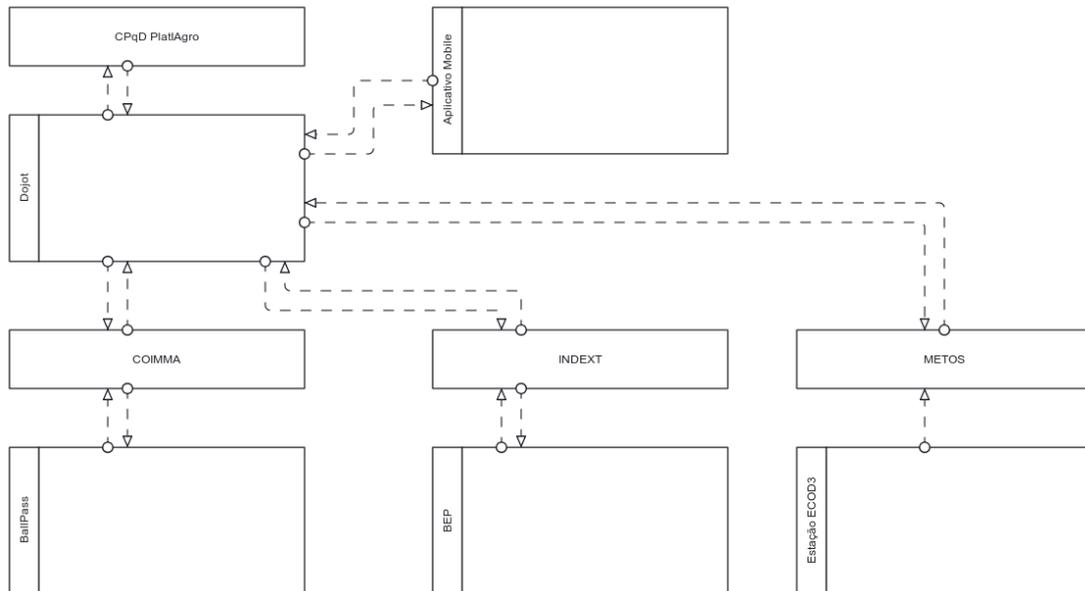


Figura 19 – Modelo geral do PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

nante para alcançar as missões do PoP e, conseqüentemente, do SoS. Esse tipo de PoP é comumente encontrado em alianças de organizações.

O processo de elaboração destes cenários ocorreu de forma iterativa, incremental e colaborativa, em que todo o grupo de pesquisa de PoP realizou reuniões periódicas para refinamento dos cenários abstratos inicialmente definidos. Posteriormente, foi realizada uma validação desses cenários com especialistas em BPMN, que permitiu identificar outros pontos de melhorias.

A Tabela 7 apresenta uma breve descrição e a contribuição para a modelagem da interoperabilidade no contexto de PoP de cada um dos seis cenários abstratos definidos. O detalhamento de cada cenário abstrato e de uma variante, também definida no escopo deste trabalho, é apresentado nas próximas subseções.

Tabela 7 – Visão geral dos cenários abstratos e suas principais contribuições

Nome do Cenário	Descrição	Principal contribuição
Vários envios e vários recebimentos	Um sistema constituinte dominante realiza o envio de várias requisições para vários constituintes de mesma capacidade e aguarda o recebimento de várias requisições destes constituintes	Suporte ao dinamismo que pode ocorrer durante a comunicação
Vários envios e uma resposta para cada constituinte	Um sistema constituinte dominante realiza o envio de várias requisições para vários constituintes distintos e aguarda o recebimento de uma requisição de cada constituinte	Uma modelagem mais enxuta para representação de várias requisições similares
Requisições Contingentes	Um sistema constituinte dominante realiza o envio de uma requisição para um constituinte. Caso esse constituinte não responda dentro de um intervalo de tempo, uma nova requisição é enviada para um constituinte de capacidade similar.	Uma modelagem mais enxuta para representação de várias requisições similares
Múltiplas respostas	Um sistema constituinte dominante realiza o envio de uma requisição para um constituinte e aguarda o retorno de várias requisições dentro de um intervalo de tempo.	Suporte ao dinamismo que pode ocorrer durante a comunicação
Corrida de requisições recebidas	Um sistema constituinte dominante aguarda a chegada de requisições, porém apenas a primeira requisição a ser recebida será processada.	Uma modelagem mais enxuta para representação de várias requisições similares
Requisição com referência	Um sistema constituinte dominante envia uma requisição para um outro constituinte (A) incluindo uma referência para um terceiro constituinte (B), possibilitando a iteração dos constituintes A e B sem haver um conhecimento prévio.	Suporte ao dinamismo que pode ocorrer durante a comunicação

4.3.1 Vários envios e vários recebimentos

Neste cenário abstrato, o processo constituinte do PoP envia várias requisições a outros constituintes e aguarda várias respostas durante um intervalo de tempo específico como critério para encerrar a recepção de requisições (ou seja, mensagens). Se as respostas recebidas não atenderem aos requisitos necessários para a continuidade da execução do fluxo do processo principal, novas requisições serão enviadas.

Para representar de maneira adequada a comunicação entre os constituintes do PoP no cenário descrito, o padrão *Multi-Responses* de [Weske \(2019\)](#) foi adaptado. Para isso, foi adotada a representação de múltiplas instâncias de tarefas para modelar as ações de envio e recebimento de várias requisições pelo constituinte dominante. Além disso, foi utilizada a representação de piscinas vazias (ou seja, processos de negócio caixa-preta) para modelar o recebimento e envio de várias requisições pelos demais constituintes envolvidos durante as trocas de mensagens, conforme ilustrado na [Figura 20](#).

O desvio paralelo tem como objetivo representar a execução do evento intermediária-

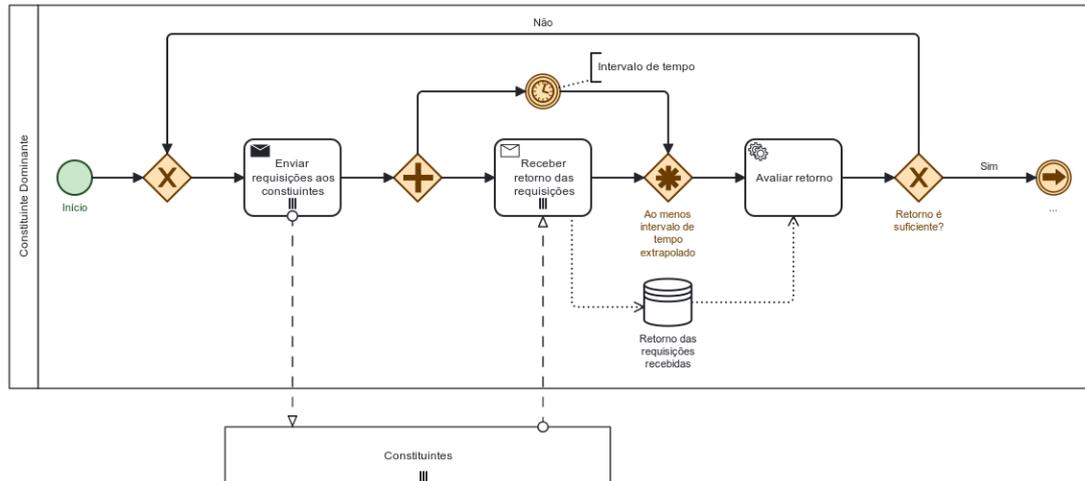


Figura 20 – Cenário Abstrato inicial - Vários envios e vários recebimentos, adaptado de Weske (2019)

rio de tempo e a tarefa de recebimento do retorno das requisições. Dado que a quantidade de respostas enviadas pelos constituintes não é conhecida, é necessário estabelecer uma condição de parada representada a partir de um limite de tempo, por meio de um evento intermediário temporal, para o processamento das requisições. Por fim, um evento intermediário do tipo conector é utilizado na representação deste e dos demais cenários abstratos para indicar que o fluxo de execução do processo constituinte dominante pode continuar.

4.3.2 Vários envios e uma resposta para cada constituinte

Neste cenário, o processo constituinte dominante envia várias requisições e espera pelas respostas dos constituintes que as receberam, com base em um critério mínimo de respostas para permitir a continuação de seu fluxo de execução. Se o número de respostas não atingir o mínimo necessário, o constituinte dominante tem a opção de enviar novas requisições aos outros constituintes.

Para atender o cenário mencionado, o padrão *One-From-Many Receive* de Weske (2019) foi modificado. Para isso, foi utilizada a representação de múltiplas instâncias de tarefas para ilustrar o envio de diversas requisições do constituinte dominante para constituintes distintos.

No modelo apresentado na Figura 21, o desvio paralelo é adotado para facilitar o recebimento conjunto das respostas das requisições. Para determinar a saída desse recebimento em paralelo, é utilizado o elemento de desvio complexo, que estabelece uma condição que requer um número mínimo de respostas antes de permitir a continuação do fluxo de execução do processo constituinte dominante. Isso se torna necessário, uma vez que não há um critério de parada baseado em um limite de tempo para a espera das respostas dos constituintes.

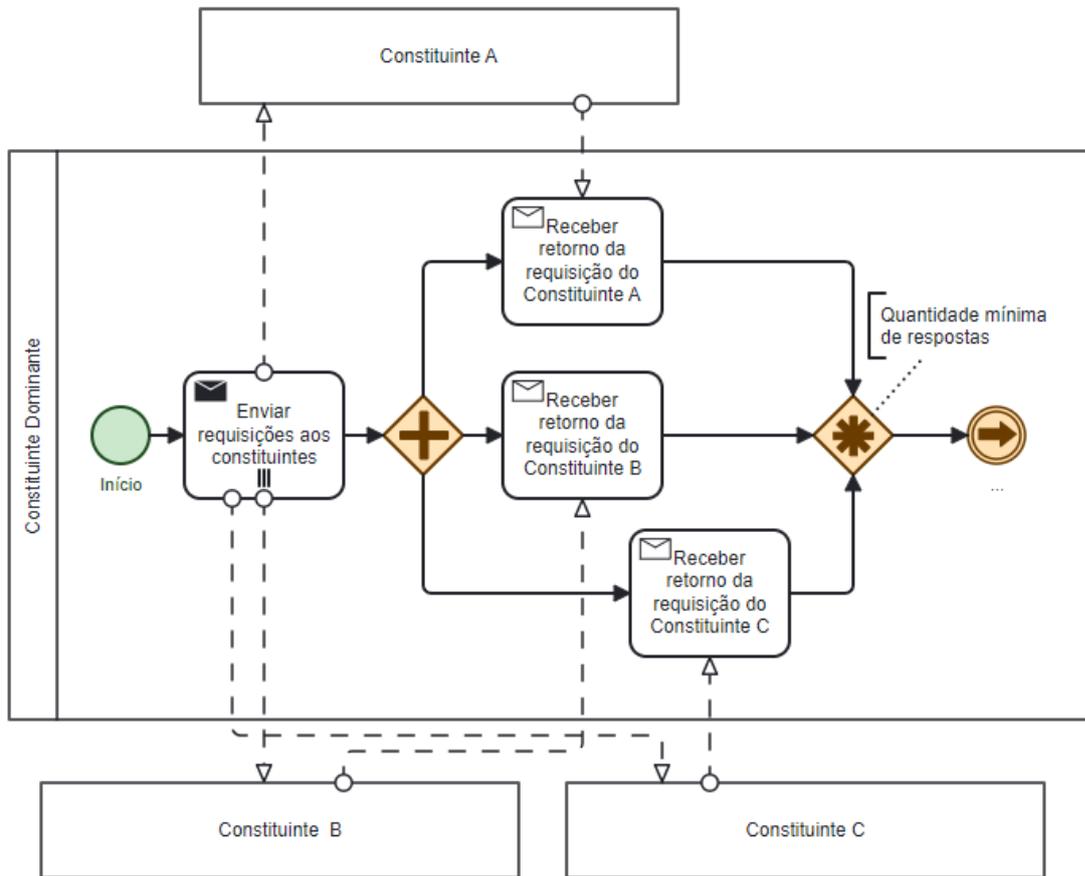


Figura 21 – Cenário Abstrato inicial - Vários envios e uma resposta para cada constituinte, adaptado de Weske (2019)

4.3.3 Requisições contingentes

Para representar a comunicação dinâmica do PoP neste cenário abstrato, o padrão *Contingent Requests* de Weske (2019) foi tomado como base. O processo constituinte dominante envia uma requisição a outro processo constituinte. Caso esse constituinte não envie uma resposta em um tempo determinado, a requisição é enviada a um outro constituinte com capacidade similar.

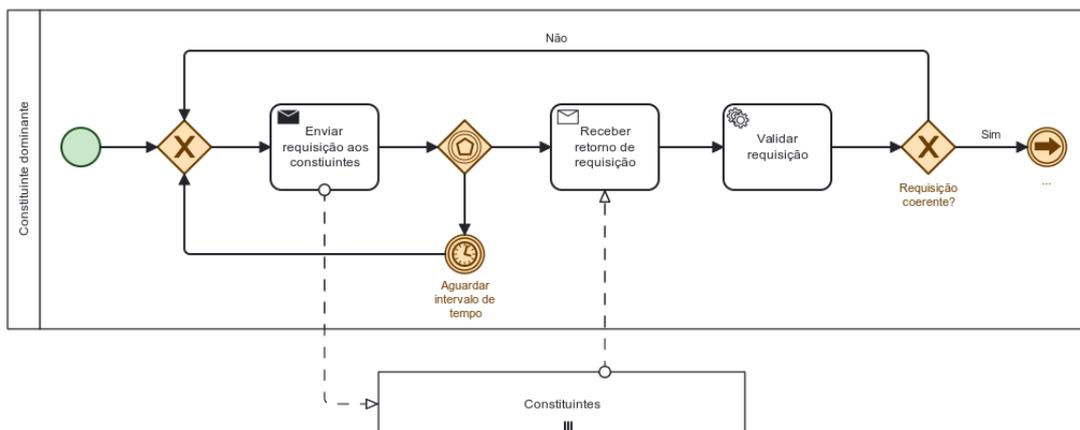


Figura 22 – Cenário Abstrato inicial - Requisições Contingentes, adaptado de Weske (2019)

Para representar a comunicação deste cenário de forma dinâmica, na Figura 22 é utilizada a tarefa de envio para representar a modelagem de envio de uma mensagem do constituinte dominante para um outro constituinte do PoP. Caso o constituinte dominante não tenha um retorno após um intervalo de tempo, a requisição é enviada a um outro constituinte com capacidade similar, que é representada pela múltipla instância na piscina vazia que representa os constituintes de mesma capacidade. Esse comportamento ocorre devido ao desvio baseado em eventos, que executa o fluxo que ocorrer primeiro, seja o tempo limite ou o recebimento da requisição. Caso a mensagem chegue após o intervalo de tempo estabelecido, a mesma será desconsiderada pois uma nova requisição a outro constituinte estará em execução. Caso a mensagem chegue antes do intervalo de tempo estabelecido, será executada a validação da requisição e não será enviada uma nova requisição a outro constituinte.

Após a validação da requisição, caso o constituinte dominante aceite a requisição recebida, é dada continuidade ao seu fluxo de execução (representado pelo evento intermediário conector). Caso tal constituinte não aceite a requisição, uma nova requisição é enviada a outro constituinte de capacidade similar.

4.3.4 Múltiplas respostas

Neste cenário abstrato, o constituinte dominante envia uma requisição a outro constituinte e aguarda múltiplas respostas até que um intervalo de tempo pré-definido seja alcançado.

Para modelar o contexto desse cenário, o padrão *Multi-Responses* de Weske (2019) foi adaptado. Para isso, a tarefa de envio é empregada para representar o processo de envio de mensagens do constituinte dominante para outro constituinte do PoP (Figura 23). Esse constituinte, ao processar a requisição, pode gerar diversas requisições de retorno, conforme ilustrado pela múltipla instância da tarefa *Receber retorno das requisições*. Além disso, a modelagem do cenário apresentado na Figura 23 estabelece uma condição de parada, ou seja, determina quando não é mais necessário aguardar outras respostas, uma vez que a quantidade de requisições que podem ser recebidas como retorno não é especificada.

4.3.5 Corrida de requisições recebidas

Para representar adequadamente a comunicação entre todos os constituintes envolvidos neste cenário abstrato, o padrão *Racing Incoming Messages* de Weske (2019) foi adaptado.

Este cenário representa um constituinte que está esperando uma mensagem chegar, porém um outro constituinte possui uma chance para enviar essa mensagem e somente a primeira mensagem que chegar será processada. Essas requisições de diferentes consti-

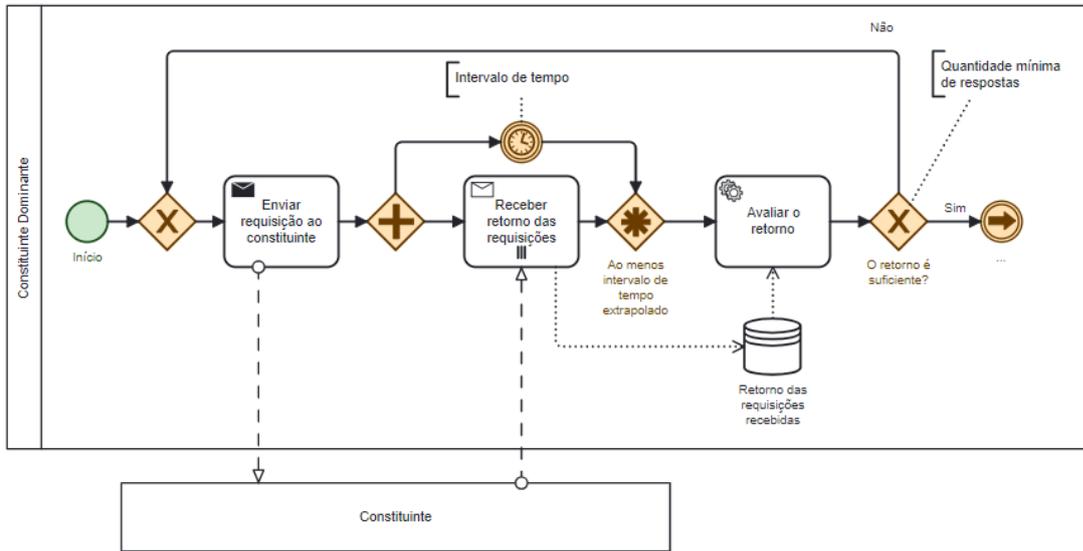


Figura 23 – Cenário Abstrato inicial - Múltiplas respostas, adaptado de Weske (2019)

tuíntes concorrem umas com as outras. Por exemplo, se a tarefa de envio “Enviar resposta de aceite” chegar primeiro, ela será processada primeiro.

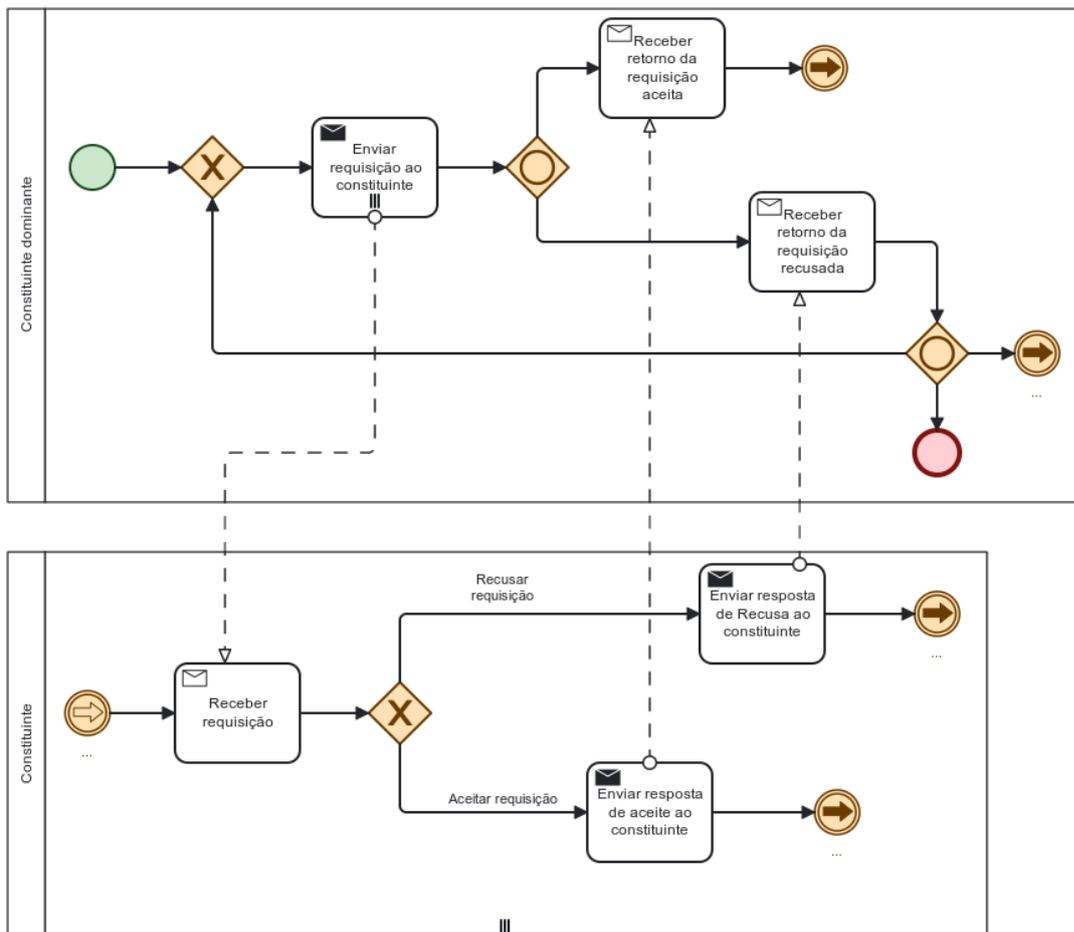


Figura 24 – Cenário Abstrato inicial - Corrida de requisições recebidas, adaptado de Weske (2019)

Na Figura 24, para representar adequadamente a comunicação entre todos os cons-

tituintes envolvidos, é utilizado o marcador de múltipla instância na tarefa de envio de requisições do constituinte dominante e também na piscina que é utilizada para a representação dos demais constituintes. Dessa forma, várias requisições podem ser enviadas a vários constituintes ao mesmo tempo.

Caso a requisição feita do constituinte dominante a um determinado constituinte seja aceita, ao receber o retorno, o constituinte dominante irá continuar o seu fluxo de execução, que é representado pelo evento intermediário conector. Caso a requisição seja recusada, o constituinte dominante pode também receber um retorno de envio das outras requisições ou realizar um novo envio a outro constituinte de mesma capacidade.

4.3.6 Requisição com referência

Neste cenário abstrato, o processo constituinte dominante envia uma mensagem para o constituinte A, incluindo uma referência ao constituinte B. No entanto, o constituinte A não precisa ter conhecimento prévio do constituinte B. Isso permite que o constituinte A passe a interagir com o constituinte B. Para modelar este cenário, o padrão *Request With Referral* de [Weske \(2019\)](#) foi adaptado. Para tanto, os constituintes A e B são representados por múltiplas instâncias em suas respectivas piscinas, refletindo a dinâmica que pode ocorrer neste cenário abstrato (Figura 25). Se o constituinte A ou B estiver indisponível ou sobrecarregado, a requisição poderá ser encaminhada para outra instância com a mesma capacidade e fluxo de atividades.

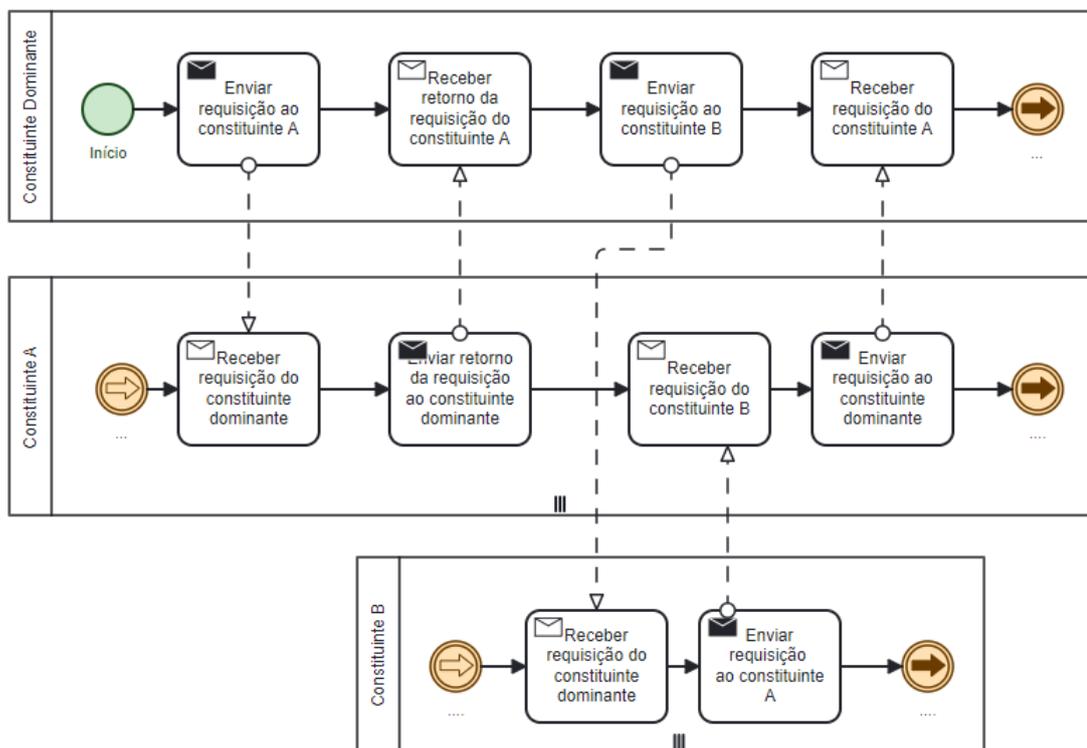


Figura 25 – Cenário Abstrato inicial - Requisição com referência, adaptado de [Weske \(2019\)](#)

4.3.7 Variante: Contratos de interoperabilidade no envio e recebimento de requisição

O objetivo da modelagem apresentada nesta subseção é oferecer uma variante para os demais cenários abstratos de interoperabilidade definidos, adicionando informações sobre a troca de requisições entre constituintes, uma vez que durante a modelagem de um cenário concreto de interoperabilidade, acordos e definições podem existir sobre os dados que serão enviados ou recebidos entre os constituintes. Devido às características de um SoS, os constituintes podem possuir diversas tecnologias e bases de dados distintas. Portanto, definir contratos com o intuito de formalizar quais informações serão enviadas, recebidas ou de que forma será feita a transmissão, pode ser relevante durante a modelagem dos processos de negócios de um PoP, uma vez que irá representar os níveis sintático e semântico das trocas de informação.

A Figura 26 representa a troca de requisições entre dois constituintes, possuindo o elemento Objeto de Dados para a formalização dos dados (ou seja, por meio de um acordo ou contrato) que serão enviados e recebidos durante a troca de mensagem. Essa formalização tem origem da tarefa de envio de uma requisição e é consumida pela tarefa de recebimento de uma requisição. Porém, é necessária atenção pois nem sempre o formato dos dados ou a forma com que será realizada a transmissão vão estar definidas para cada tarefa de envio de requisição. Portanto, o reuso deste cenário abstrato se torna opcional. Caso o constituinte possua outras tarefas de envio e de recebimento de requisição, um novo contrato deverá ser representado, uma vez que a intenção de uso dos dados é distinta para cada tarefa.

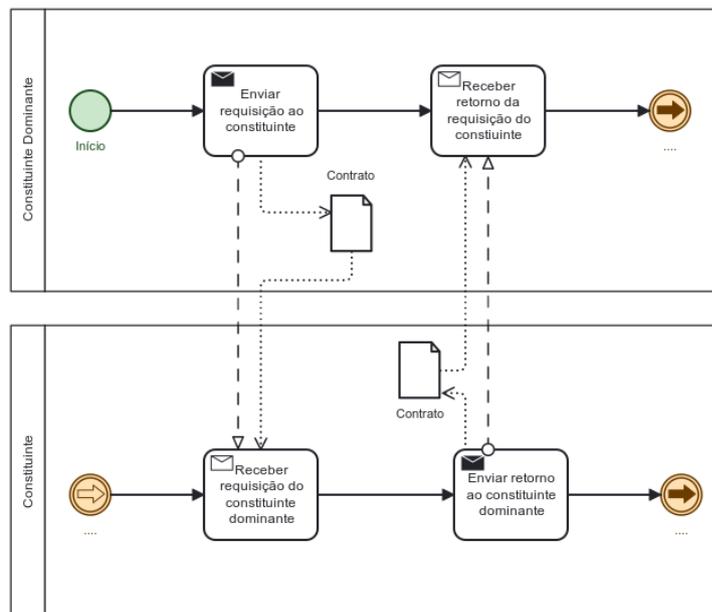


Figura 26 – Variante dos cenários abstratos de interoperabilidade - Contratos de interoperabilidade no envio e recebimento de requisição

4.4 Avaliação dos Cenários Abstratos

O **objetivo** da avaliação conduzida foi analisar a modelagem de seis cenários abstratos de interoperabilidade e uma variante, **com a finalidade** de observar se a modelagem de cada cenário abstrato é adequada **em relação** à representação adequada da interoperabilidade entre os processos constituintes que compõem o PoP, **sob o ponto de vista** de especialistas em BPMN.

O estabelecimento da avaliação dos cenários abstratos de interoperabilidade foi baseada na abordagem **GQM** (*Goal-Question-Metric*) (BASILI, 1992), estruturada com base nos processos de Kasunic (2005) e realizada em conjunto com a avaliação de dois cenários abstratos de tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP, definidos por Molina et al. (2023), para otimização de recursos humanos.

4.4.1 Planejamento e Piloto

Inicialmente, foi elaborado um questionário utilizando a ferramenta *Google Forms* devido às facilidades para coleta de dados de forma online. O questionário foi utilizado para caracterizar o perfil dos participantes e também para coletar os dados da avaliação. Para o perfil, foram coletados dados como região da residência, nível de escolaridade mais elevado, área de formação, cargo ou função, nível de conhecimento em BPMN, tempo de experiência no uso da notação BPMN, utilização da BPMN para modelar a comunicação entre processos de negócio e utilização da BPMN para modelar o tratamento de exceções em processos de negócios. Durante a avaliação, foram coletadas informações acerca do resultado da análise de cada cenário abstrato por cada participante utilizando como base a seguinte escala de Likert: Discordo totalmente, Discordo, Ainda não estou decidido, Concordo e Concordo totalmente.

Para cada cenário abstrato, foi apresentada uma breve descrição do seu objetivo, uma descrição detalhada de sua modelagem e a seguinte pergunta “Você concorda com a modelagem deste cenário abstrato” para ser respondida de acordo com a escala de *Likert* mencionada. Cada cenário abstrato foi analisado levando em consideração a adequação dos elementos BPMN e dos rótulos utilizados na modelagem. O questionário contém também uma questão aberta para que os participantes possam justificar, caso não concordem totalmente com a modelagem de cada cenário abstrato, e sugerir melhorias. Além disso, inclui um termo de consentimento livre e esclarecido.

A seleção dos participantes foi realizada com base na rede de contatos dos pesquisadores da Facom/UFMS com especialistas brasileiros em BPMN e por meio de descobertas manuais através da rede social LinkedIn. Os contatos do LinkedIn foram levantados por meio de busca utilizando o termo “BPMN”. Além disso, foi considerado co-autores de trabalhos relacionados à BPMN de especialistas conhecidos. Esses co-autores foram se-

leccionados por meio da plataforma Lattes. Ao todo foram identificados 35 candidatos a participantes da avaliação. Buscando obter o maior número possível de contribuições para esta pesquisa, foi solicitado aos especialistas selecionados que este convite fosse estendido para outros especialistas em BPMN que fossem de seu grupo de pesquisa. Porém, não foi possível quantificar o número de convites indiretos.

Para validar o questionário elaborado e evitar vieses ou dúvidas no momento da condução da avaliação, foi realizado um piloto com outros quatro participantes que possuem conhecimento prévio em BPMN. Esses participantes foram selecionados por conveniência. Sua participação foi essencial para estimar o tempo para o preenchimento do questionário, como também levantar sugestões para melhorias no questionário. O piloto foi realizado no período de 30/01/2023 a 05/02/2023.

As principais sugestões foram (i) incluir a opção de resposta “Pós-Graduação - Nível Especialização” na questão sobre o nível de escolaridade; (ii) melhorar a questão relacionada ao tempo de experiência em BPMN para esclarecer se seria considerado apenas o tempo acadêmico, profissional ou ambos (essa sugestão ajudou a reformular a pergunta, deixando claro que a experiência diz respeito ao tempo de uso da notação, independentemente do ambiente aplicado); e (iii) revisar o uso apropriado do evento “conector” nas modelagens dos cenários, pois ficou evidente pelos feedbacks que esse elemento é mais adequado para ser utilizado em processos maiores, quando não há espaço disponível dentro da piscina que representa um processo. Todas as sugestões foram aceitas e o questionário foi aprimorado.

4.4.2 Execução

A distribuição oficial do questionário para avaliação dos cenários abstratos ocorreu em 24/02/2023 por meio de um convite via correio eletrônico e mensagens via chat no LinkedIn para os 35 especialistas identificados para participar da pesquisa. O questionário ficou disponível para submissão de respostas até o dia 09/03/2023. O conteúdo do formulário de avaliação está disponível no Apêndice D. Após o encerramento do prazo, sete (20%) dos 35 especialistas convidados responderam o questionário.

4.4.3 Caracterização dos especialistas

De acordo com as respostas relacionadas ao perfil dos participantes, ilustradas na Figura 27, quatro dos sete especialistas possuem graduação completa, dois especialistas estão cursando pós-graduação e um possui mestrado completo. As principais áreas de formação dos participantes são Tecnologia da Informação e Ciência da Computação, possuindo dois especialistas em cada área. Há também um especialista em cada uma das outras áreas indicadas na figura, sendo Sistemas de Informação, Administração e Jogos

Por fim, todos os especialistas afirmaram que já utilizaram BPMN para modelar comunicação entre processos de negócio e apenas dois especialistas não se lembram de terem utilizado a notação para modelagem de tratamento de exceções, conforme evidenciado no gráfico da Figura 28. Esses resultados indicam que os participantes possuem aptidão para uma análise crítica dos cenários abstratos de interoperabilidade.

4.4.4 Resultados e refinamento dos cenários abstratos

Os resultados acerca desta avaliação se mostram positivos para a maioria dos cenários, possuindo um resultado expressivo de concordância, conforme apresentado na Figura 29. Porém para as avaliações desfavoráveis, principalmente no cenário “Vários envios e vários recebimentos” (Seção 4.3.1), os especialistas forneceram sugestões para aprimorar a modelagem dos cenários propostos, utilizando boas práticas em BPMN e também outros elementos para modelar adequadamente a comunicação entre processos que ocorre no cenário.

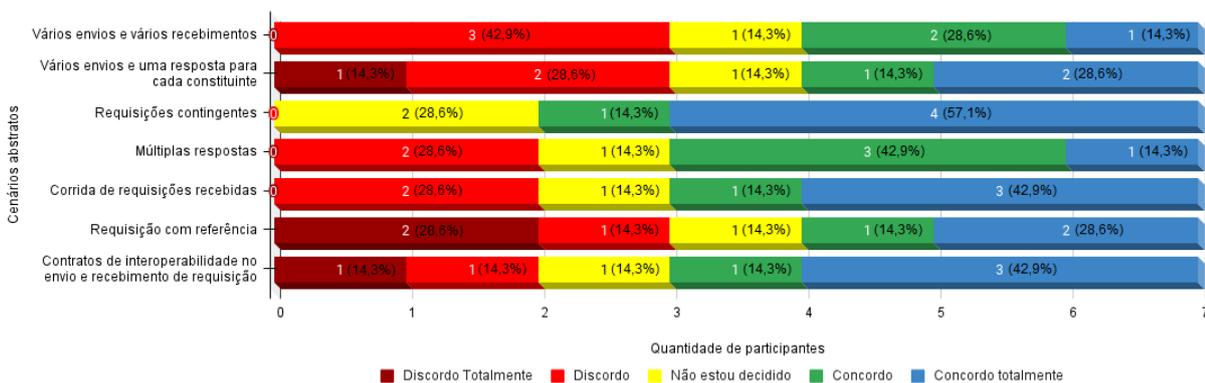


Figura 29 – Resultado da avaliação dos cenários abstratos pelos especialistas

Uma das sugestões feita por um especialista foi verificar o uso do desvio paralelo quando precedido de um desvio complexo, o qual não seria o mais adequado para representar o recebimento de mensagens durante um intervalo de tempo. De acordo com o especialista, o elemento mais adequado é o desvio baseado em eventos, para que durante um intervalo de tempo as mensagens recebidas sejam armazenadas em um repositório e, posteriormente, o fluxo de execução do processo retorne ao desvio baseado em eventos até que o tempo limite seja atingido.

Torna-se necessário definir um critério de saída do *loop* durante o recebimento de requisições, uma vez que o valor exato de requisições esperadas é desconhecido. Esta sugestão foi analisada, aceita e aplicada nos cenários Vários envios e vários recebimentos (Seção 4.3.1) e Múltiplas respostas (Seção 4.3.4). Os cenários refinados são apresentados nas Figuras 30 e 31

O uso do desvio baseado em eventos também foi proposto pelo mesmo especialista para o cenário “Corrida de Requisições Recebidas” (Seção 4.3.5), porém em um novo

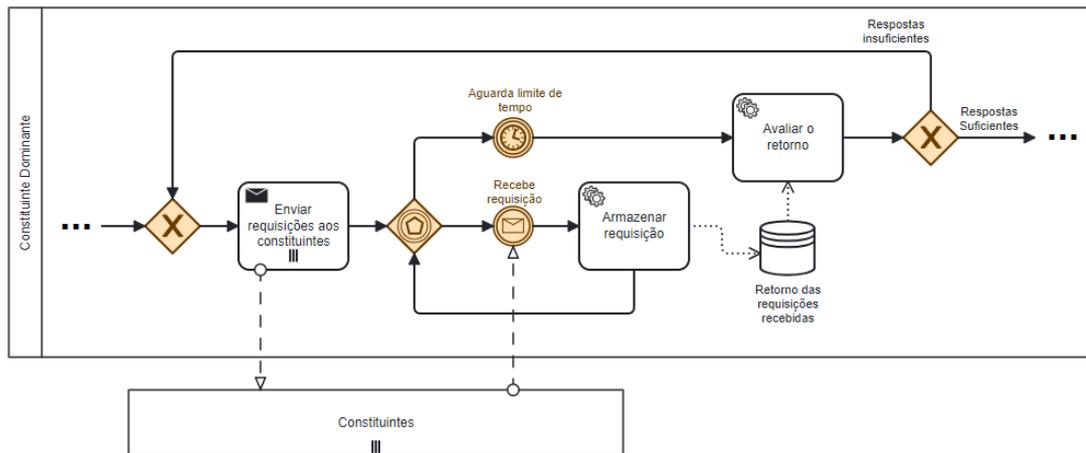


Figura 30 – Cenário Abstrato Refinado - Vários envios e vários recebimentos, adaptado de (WESKE, 2019)

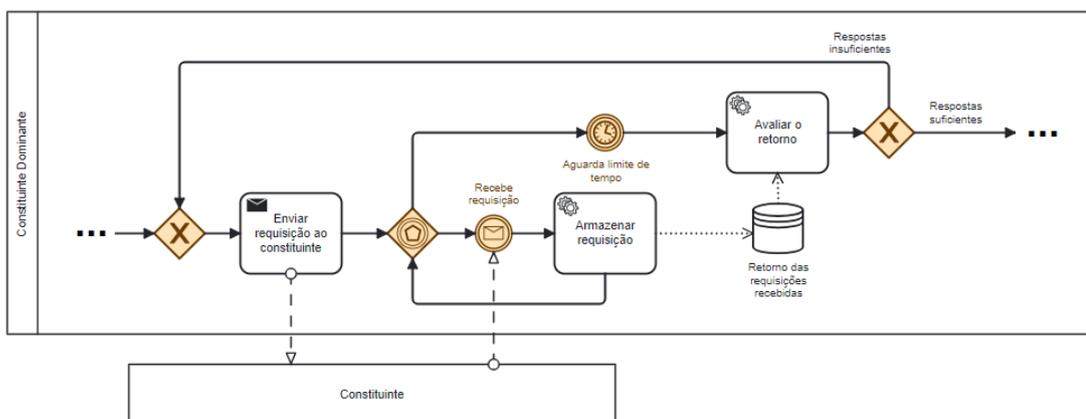


Figura 31 – Cenário Abstrato Refinado - Múltiplas Respostas, adaptado de (WESKE, 2019)

contexto. Nesse cenário, o desvio tem a função de processar apenas a primeira requisição que for recebida, uma vez que são esperadas, simultaneamente, requisições de constituintes distintos, mas apenas a primeira mensagem deve ser processada. A sugestão foi aceita e pode ser observada na Figura 32.

No cenário “Requisições Contingentes”, um especialista apontou que a utilização da multiplicidade na piscina que representa os constituintes deixava a modelagem um pouco confusa ao representar o envio de requisição a constituintes distintos. Para contornar esse problema, sugeriu-se que cada constituinte fosse representado de forma distinta. A sugestão foi aceita e está apresentada na Figura 33. No entanto, como o objetivo da modelagem é representar um cenário abstrato, não é possível estipular uma quantidade específica de constituintes que podem fazer parte dessa comunicação. Portanto, para melhorar a interpretação do cenário, foram utilizadas duas piscinas rotuladas como “Constituinte 01” e “Constituinte n”, retratando essa multiplicidade de maneira genérica.

De forma geral, três especialistas sugeriram mudanças nos rótulos dos desvios. Ao aplicar as boas práticas de modelagem, não se deve inserir uma pergunta diretamente no elemento, mas sim rótulos indicando uma ação para cada caminho que o desvio pode

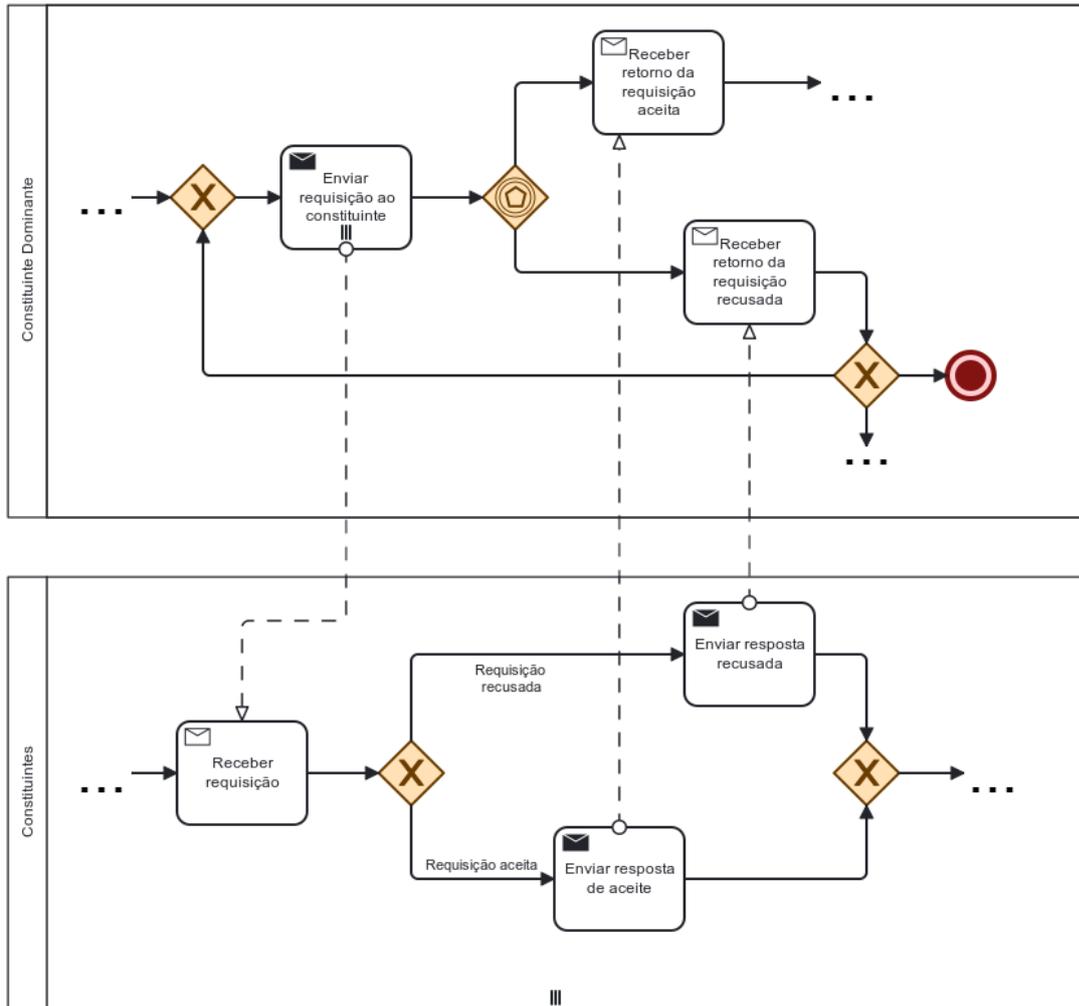


Figura 32 – Cenário Abstrato Refinado - Corrida de requisições recebidas, adaptado de (WESKE, 2019)

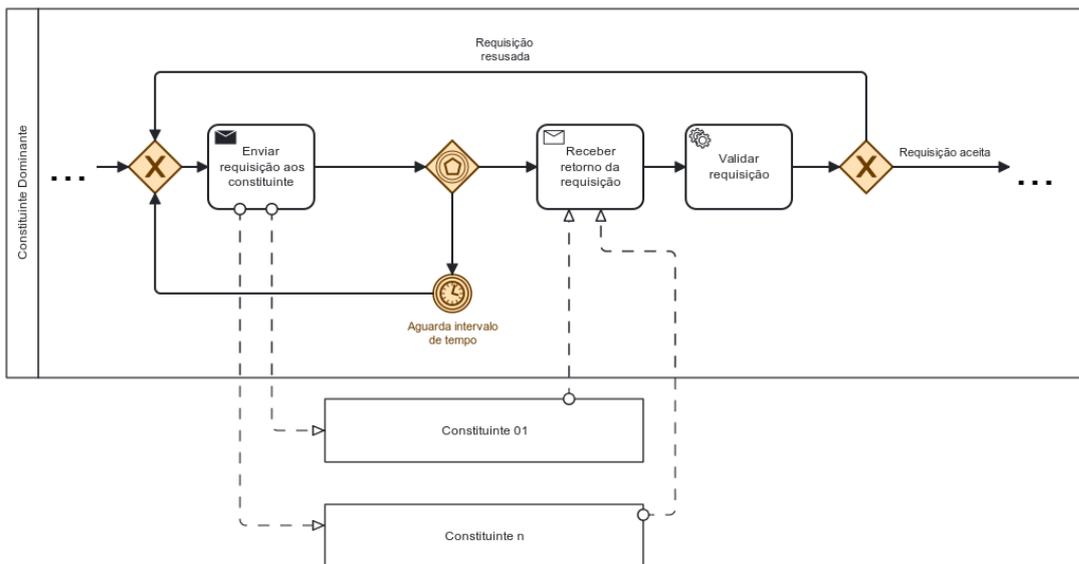


Figura 33 – Cenário Abstrato Refinado - Requisições Contingentes, adaptado de (WESKE, 2019)

ter. Por exemplo, no cenário “Requisições Contingentes” (Seção 4.3.3), os especialistas sugeriram substituir o rótulo **Requisição coerente?** e seus respectivos caminhos **sim** e

não por **requisição aceita** e **requisição recusada**, como exemplificado na Figura 33. Essa sugestão foi aceita e aplicada nos cenários “Vários Envios e Vários Recebimentos”, “Requisições Contingentes” e “Múltiplas Respostas”.

Outra recomendação apontada por dois especialistas em todos os cenários foi evitar o uso do elemento de evento intermediário link, que estava sendo utilizado para representar a existência de outros processos de negócio que antecedem ou continuam após uma comunicação entre os constituintes. Foi apontado pelos especialistas que esse elemento é indicado para continuidade em processos de negócio muito grandes, além de que utilizar mais de um link em uma mesma modelagem poderia causar interpretações equivocadas do fluxo de execução. Portanto, a recomendação foi atendida realizando a remoção do elemento e adicionando visualmente reticências na representação dos cenários abstratos, conforme pode ser observado na Figura 34 e 35.

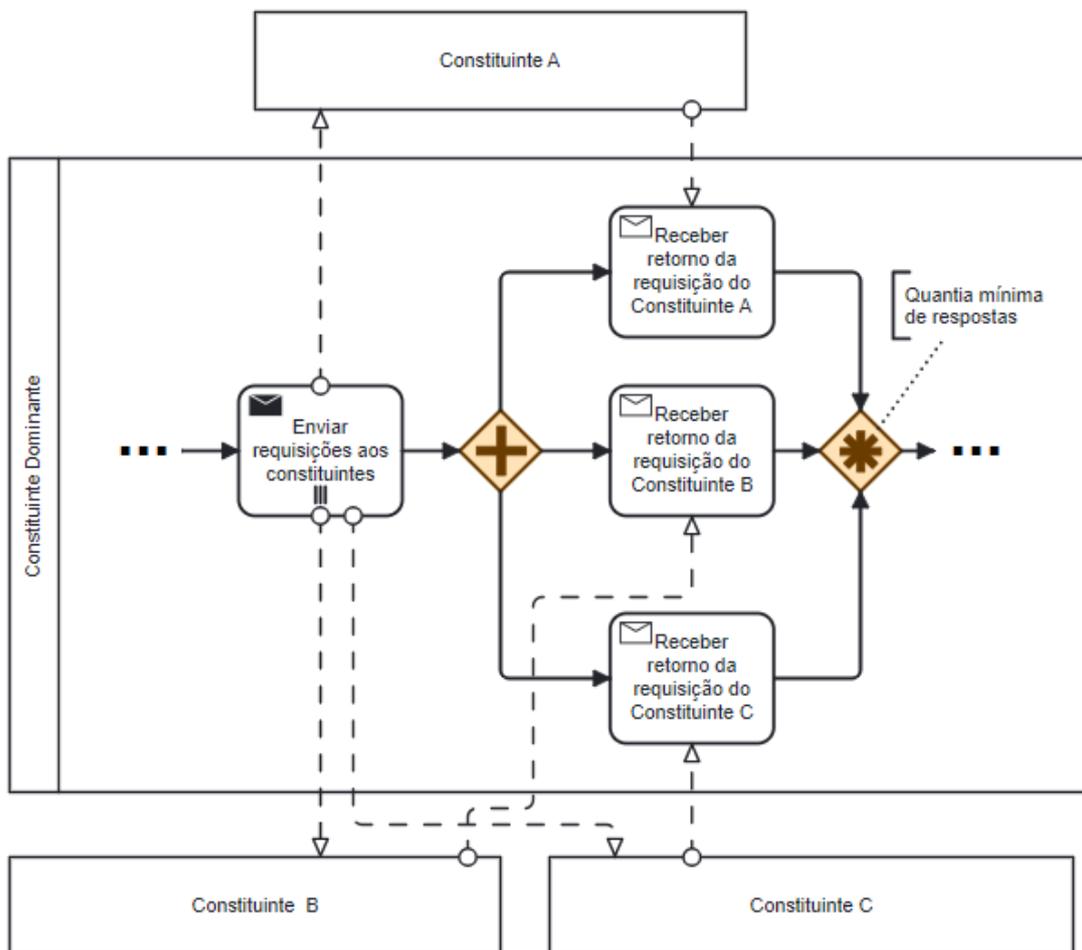


Figura 34 – Cenário Abstrato Refinado - Vários envios e uma resposta para cada constituinte, adaptado de (WESKE, 2019)

Um especialista também apresentou uma sugestão para a Variante dos cenários abstratos de interoperabilidade (Seção 4.3.7). Ele aponta que o objeto de dados, que representa o contrato, não tem sua origem vinda da tarefa de envio, mas que a origem é vista por todas as tarefas, uma vez que esse contrato já está definido antes da execução

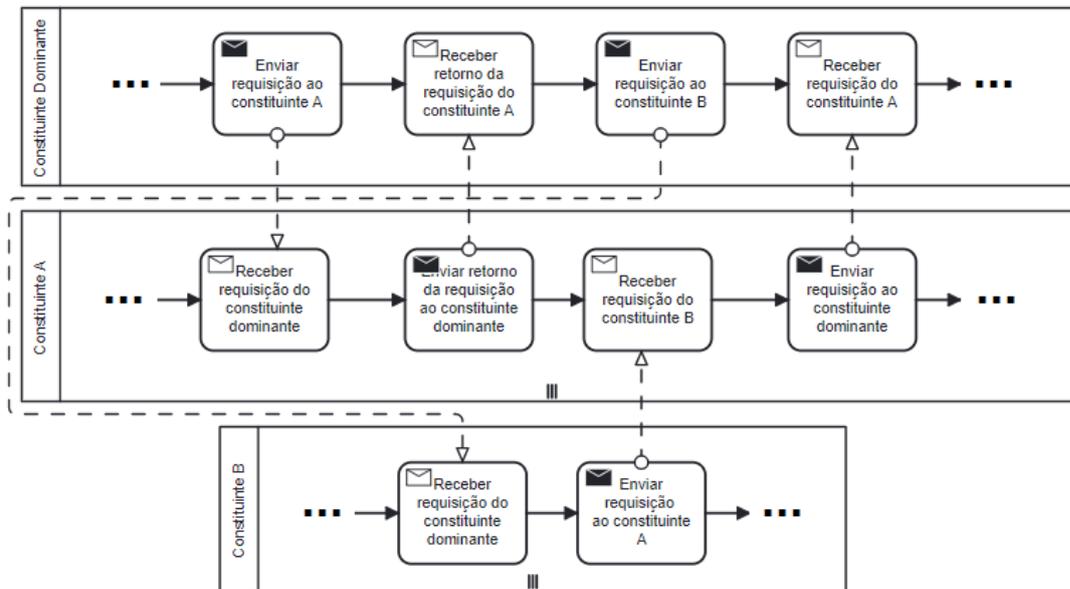


Figura 35 – Cenário Abstrato Refinado - Requisição com referência, adaptado de (WESKE, 2019)

das tarefas. Dessa forma, na execução das tarefas de envio ou de recebimento, o objeto de dados será apenas consultado, alterando assim o sentido do elemento de associação de dados. Esta sugestão foi aceita e está exibida na Figura 36.

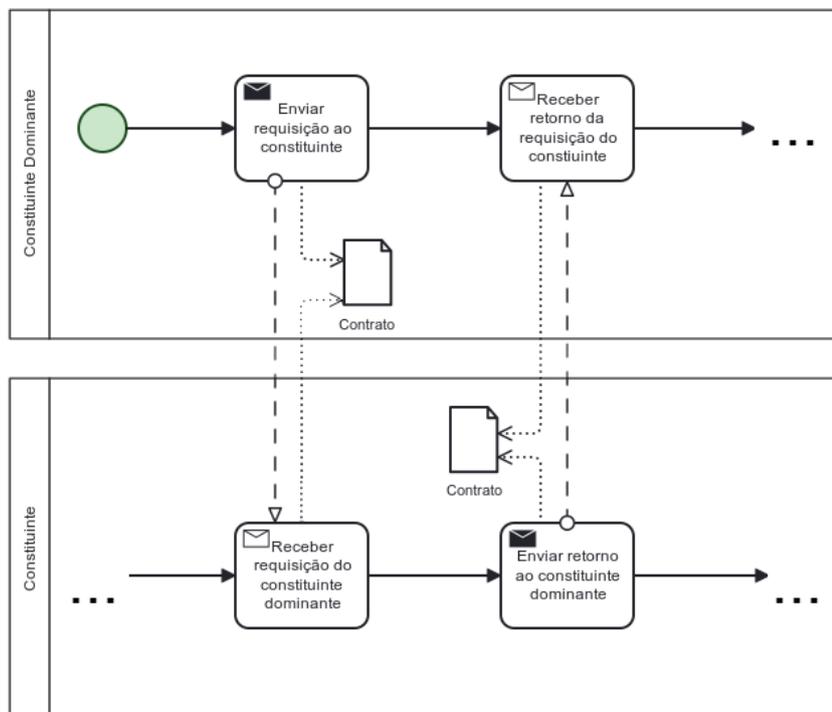


Figura 36 – Variante dos cenários abstratos de interoperabilidade refinada - Contratos de interoperabilidade no envio e recebimento de requisição

Assim, tem-se como principal contribuição dos especialistas a adição do desvio baseado em eventos, o qual proporciona uma modelagem mais precisa de acordo com as necessidades de cada cenário. A diferença pode ser visualizada na Figura 37.

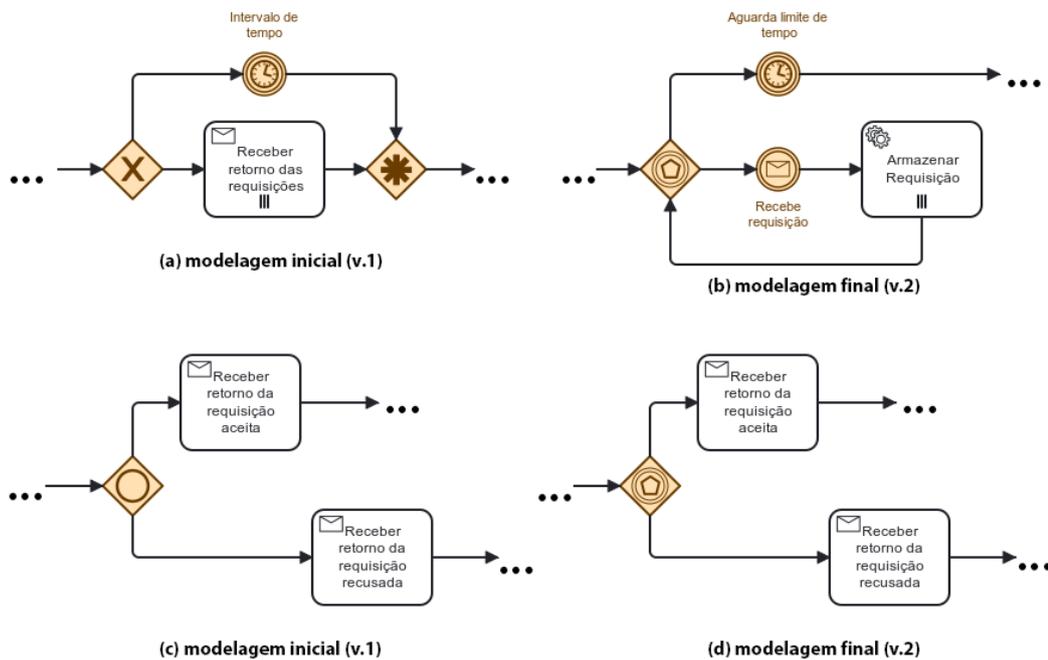


Figura 37 – Síntese da principal contribuição durante o refinamento dos cenários abstratos

4.4.5 Ameaças à validade

As principais ameaças à validade da avaliação realizada estão relacionadas a: (i) envio de convite a contatos conhecidos dos autores: para mitigar essa ameaça, foi realizada uma pesquisa exploratória para identificar novos especialistas a partir de rede social de profissionais conhecidos e palavras-chave como BPMN e por meio de artigos científicos publicados na área; e (ii) Abrangência das regiões e nacionalidades dos especialistas e o número limitado de participantes: Para mitigar essa ameaça, é essencial realizar pesquisas futuras que desenvolvam estratégias para incorporar especialistas de diferentes regiões do Brasil, bem como de outros países.

4.4.6 Contribuições dos cenários abstratos

Em linhas gerais, todos os cenários abstratos de interoperabilidade em PoP são úteis para contribuir para a modelagem de PoP por meio da reutilização e instanciação desses cenários abstratos em cenários concretos.

Como primeira contribuição, mas não menos importante que as demais, as modelagens de todos os cenários abstratos ficaram mais enxutas em relação ao dinamismo e disponibilidade dos constituintes durante as trocas de requisições que são representadas pela interoperabilidade modelada nas tarefas de envio e recebimento de requisições.

Isso é evidente nos cenários que apresentam desvios baseados em eventos durante o recebimento de requisições (por exemplo, Vários envios e vários recebimentos - Figura

30, Requisições Contingentes - Figura 33, Múltiplas respostas - Figura 31 e Corrida de requisições recebidas - Figura 32).

Os desvios baseados em eventos permitem a execução do evento que ocorrer primeiro, seja o recebimento de uma requisição ou um intervalo de tempo. Dessa forma, se houver problemas com o constituinte emissor da requisição, o constituinte dominante não será prejudicado, o que viabiliza seu fluxo de execução.

A segunda contribuição se manifesta na representação da multiplicidade de constituintes, como observado no cenário “Vários envios e vários recebimentos” (Figura 30). Nesse cenário, a piscina de constituintes é configurada com o atributo de multiplicidade, indicando que a mesma mensagem será enviada para múltiplos constituintes com capacidades equivalentes.

Essa abordagem difere da analisada no cenário “Vários envios e uma resposta para cada constituinte” (Figura 34), onde a multiplicidade pode ser observada na tarefa de envio. Isso significa que a mesma mensagem será enviada, porém para constituintes de capacidades distintas. Essa distinção ressalta a flexibilidade das modelagens em representar diferentes cenários de interação entre os constituintes, levando em consideração suas diversas capacidades e necessidades específicas.

A terceira contribuição considera a capacidade de incorporar informações pré-definidas e já conhecidas para aprimorar o nível de interoperabilidade entre os constituintes, conforme representado pela variante dos cenários abstratos (Figura 36). Essas informações podem incluir protocolos de comunicação, formato da mensagem e intenção de uso da mensagem. Essa abordagem enriquece a modelagem ao fornecer diretrizes específicas que facilitam a comunicação e a integração entre os constituintes, contribuindo para uma interoperabilidade mais eficiente.

4.4.7 Elementos BPMN identificados a partir dos cenários abstratos

A partir da análise dos cenários abstratos, foi possível identificar todos os elementos BPMN necessários para representar adequadamente a interoperabilidade em PoP.

Essa análise complementa a identificação dos elementos BPMN encontrados nos cenários concretos, assegurando uma diversidade de situações e contextos para as interações entre processos constituintes de PoP.

Conforme ilustrado na Figura 38, é evidente que diversos elementos são comuns tanto para a representação do envio quanto do recebimento de mensagens, por exemplo, os eventos intermediários de borda. Nessa figura, os elementos “Evento Intermediário de Tempo” e “Objeto de Banco de Dados” foram designados como auxiliares, uma vez que foram identificados como parte integrante da lógica para aperfeiçoar o processo durante o recebimento e processamento de múltiplas mensagens, como exibido no cenário “Vários

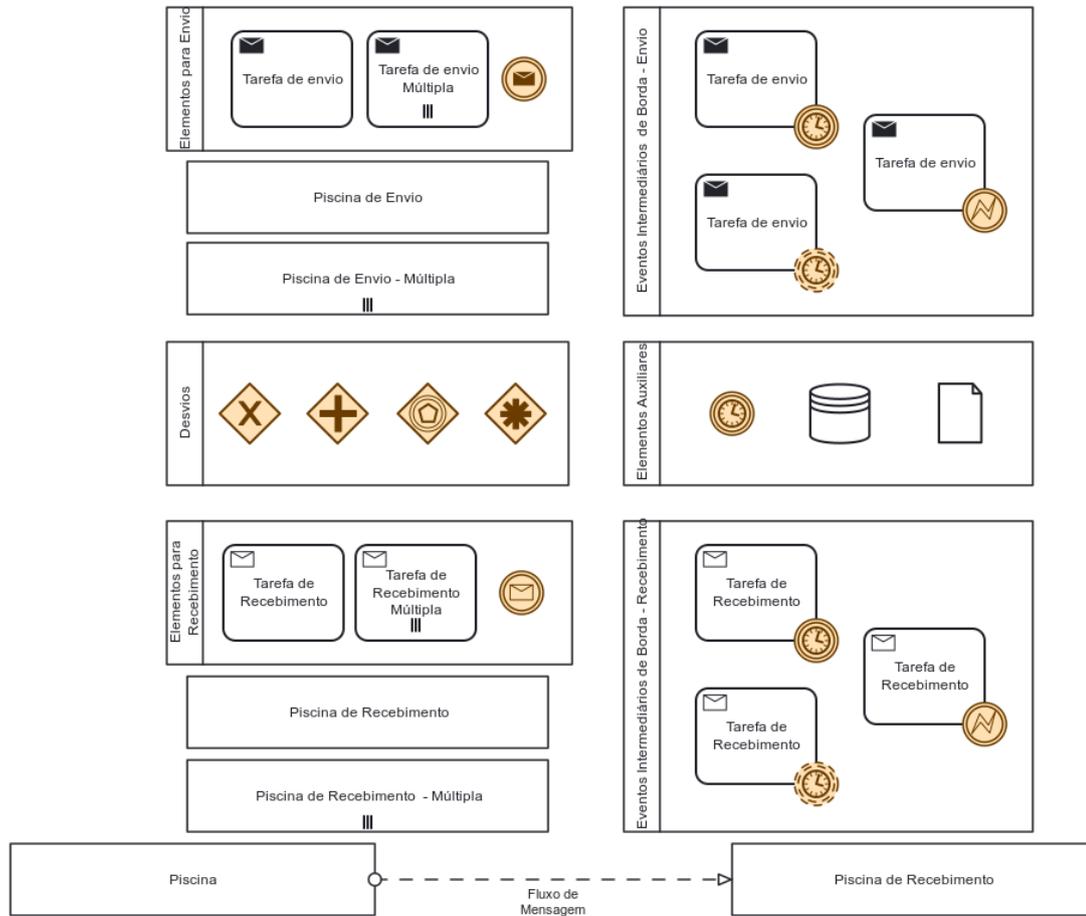


Figura 38 – Elementos BPMN identificados para representação da interoperabilidade em PoP

envios e vários recebimentos” (Figura 30).

Por outro lado, o elemento “Objeto de Dados” também é apresentado como auxiliar, dada a sua função específica, conforme explicado na variante de interoperabilidade (Figura 36).

Outro aspecto relevante é a inclusão do elemento “Fluxo de Mensagem”, presente em todos os cenários abstratos de interoperabilidade. Esse elemento desempenha um papel crucial ao indicar a origem e o destino de uma troca de mensagens entre os diferentes processos constituintes envolvidos, uma vez que nos cenários abstratos modelados, leva-se em consideração que cada piscina representa um processo constituinte distinto de um PoP.

4.5 Extensão do Metamodelo do PoP

A partir dos elementos BPMN identificados durante a análise dos cenários de interoperabilidade (Figura 38), realizou-se a extensão do metamodelo do PoP com o objetivo de agregar todas as classes da especificação BPMN (OMG, 2014a) correspondentes a esses elementos BPMN ao metamodelo com a finalidade de criar um artefato útil para extração

de requisitos de interoperabilidade a partir de informações sobre interoperabilidade em PoP.

Inicialmente, foi necessário verificar se a nomenclatura de cada um dos elementos BPMN estava de acordo com a especificação da [OMG \(2014a\)](#) ao ser gerada a partir de uma ferramenta. Para isso, foram criadas as modelagens dos cenários abstratos nas ferramentas Bizagi e bpmn.io e analisados os arquivos XML gerados. Como resultado, foi possível afirmar que ambas as ferramentas utilizam o mesmo padrão para a nomenclatura dos elementos e seguem a especificação, conforme exibido na Tabela 8.

Tabela 8 – Elementos BPMN utilizados para representar a interoperabilidade em PoP de acordo com a especificação da [OMG \(2014a\)](#)

Elementos BPMN	Classe correspondente OMG
Processo	<i>process</i>
Fluxo de mensagem	<i>messageFlow</i>
Tarefa de envio de mensagem	<i>sendTask</i>
Tarefa de recebimento de mensagem	<i>receiveTask</i>
Evento de início	<i>startEvent</i>
Evento de fim	<i>endEvent</i>
Evento intermediário de envio de mensagem	<i>intermediateThrowEvent + messageEventDefinition</i>
Evento intermediário de recebimento de mensagem	<i>intermediateCatchEvent + messageEventDefinition</i>
Piscina	<i>participant</i>
Evento intermediário de borda	<i>boundaryEvent</i>
Atributo para evento intermediário de borda - Tempo	<i>intermediateCatchEvent + timerEventDefinition</i>
Atributo para evento intermediário de borda - Erro	<i>BoundaryEvent + errorEventDefinition</i>
Objeto de dados	<i>dataObject</i>
Banco de dados	<i>dataStore</i>
Atributo de multiplicidade - piscina	<i>participantMultiplicity</i>
Atributo de multiplicidade - tarefa	<i>multiInstanceLoopCharacteristics</i>
Desvio Exclusivo	<i>exclusiveGateway</i>
Desvio complexo	<i>complexGateway</i>
Desvio paralelo	<i>parallelGateway</i>
Desvio baseado em eventos	<i>eventBasedGateway</i>

Posteriormente, realizou-se a extensão do metamodelo do PoP com o objetivo de representar cada classe BPMN identificada na Tabela 8, assim como os relacionamentos entre essas classes com as já existentes no metamodelo do PoP. As representações das classes BPMN foram obtidas da especificação da [OMG \(2014a\)](#).

Como resultado, tem-se o metamodelo estendido do PoP ilustrado na Figura 39. As

classes e pacotes incorporados ao metamodelo estendido do PoP estão destacados na cor laranja. Os pacotes representam um conjunto comum de elementos BPMN que possuem o mesmo relacionamento com uma classe do PoP e foram agrupados para fornecer uma melhor visibilidade do metamodelo. Os pacotes representam os desvios (*gateway*), eventos (*event*) e tarefas (*task*), enquanto as demais classes BPMN não agrupadas podem ser observadas diretamente no metamodelo.

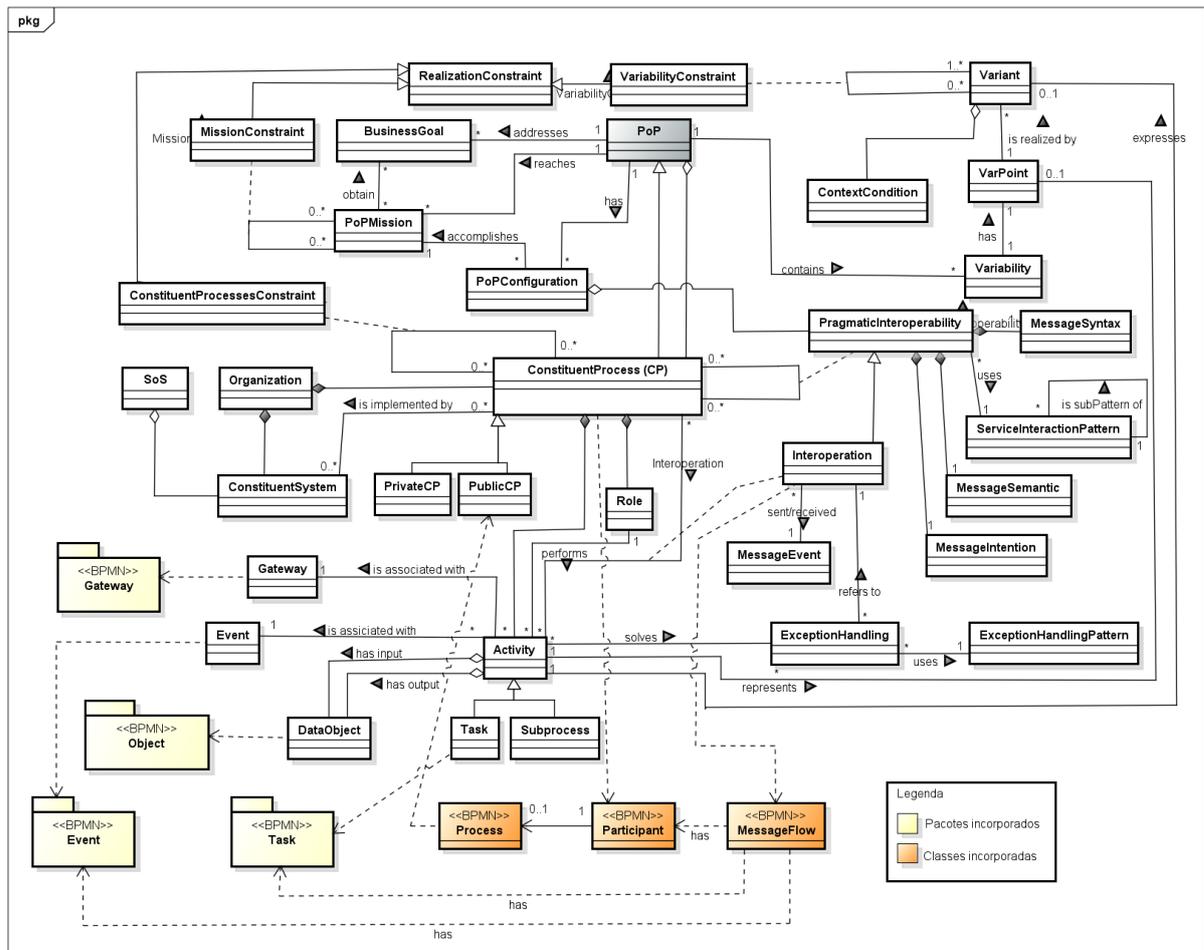


Figura 39 – Metamodelo do PoP Estendido com elementos BPMN utilizados para representar interoperabilidade

No contexto do PoP, ao analisar um Modelo Detalhado de Missão, observa-se que um processo constituinte é representado em BPMN por uma piscina (*participant*). Por sua vez, essa piscina pode conter um processo constituinte público (*PublicCP*), representado em BPMN como *process* (caso a visualização do seu funcionamento seja pública), ou pode ser representada por uma piscina vazia, caso o seu funcionamento seja privado.

A interoperabilidade é representada pelo elemento fluxo de mensagem (*MessageFlow*) na notação BPMN, possuindo sempre um elemento de referência de origem (*sourceRef*) e um elemento referência de destino (*destinyRef*) que podem ser uma piscina (*participant*), uma tarefa (*task*) ou um evento (*event*).

Os demais elementos presentes na Tabela 8 encontram-se modelados nos pacotes referentes a cada grupo. A Figura 40 apresenta as tarefas de envio e recebimento, enquanto a Figura 41 ilustra os eventos classificados em dois tipos, eventos de lançamento (*Throw Event*) e eventos de captura (*Catch Event*).

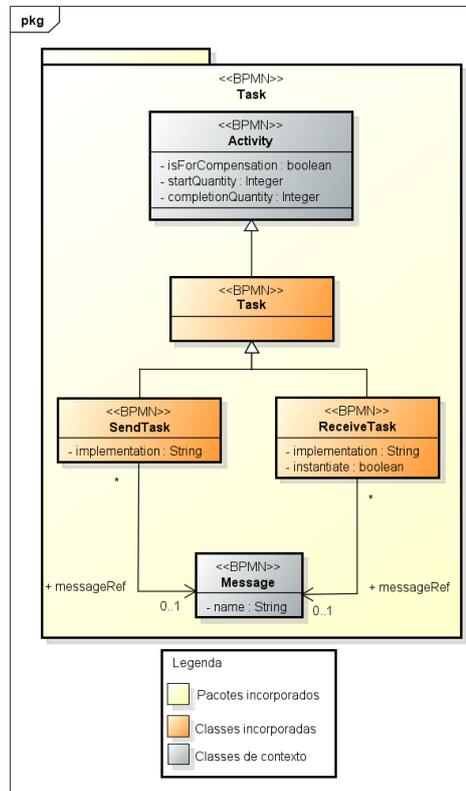


Figura 40 – Tarefas (*task*) utilizadas para representar interoperabilidade em PoP

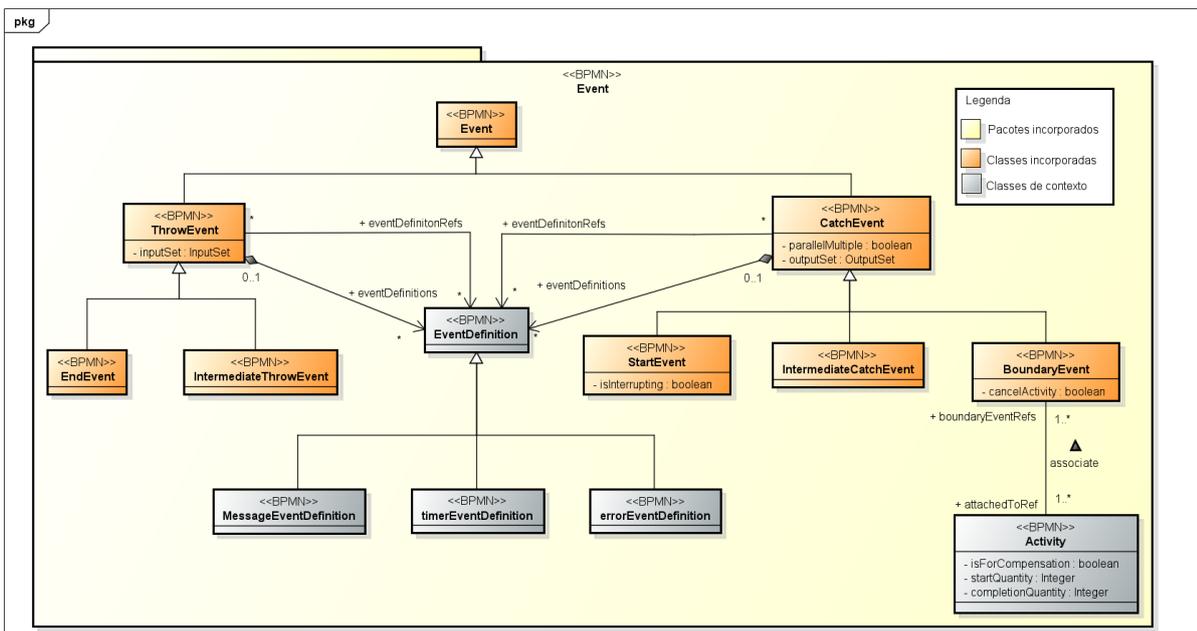


Figura 41 – Eventos (*event*) utilizados para representar interoperabilidade em PoP

Dentre os eventos de lançamento, destacam-se o evento de fim (*End Event*) e o evento intermediário de envio de mensagem (*Intermediate Throw Event*), associado a um (*Message Event Definition*). EM relação aos eventos de captura, tem-se o evento de início (*Start Event*), evento intermediário para recebimento de mensagem (*Intermediate Catch Event*), associado a um (*Message Event Definition*), evento intermediário de tempo (*Intermediate Catch Event*), associado a um (*Timer Event Definition*), e evento de borda de erro (*Boundary Event*), associado a um (*Error Event Definition*).

A Figura 42 apresenta os desvios, abrangendo os tipos exclusivo, paralelo, complexo e baseado em eventos, enquanto a Figura 43 exibe os elementos de banco de dados (*dataStore*) e objeto de dados (*dataObject*).

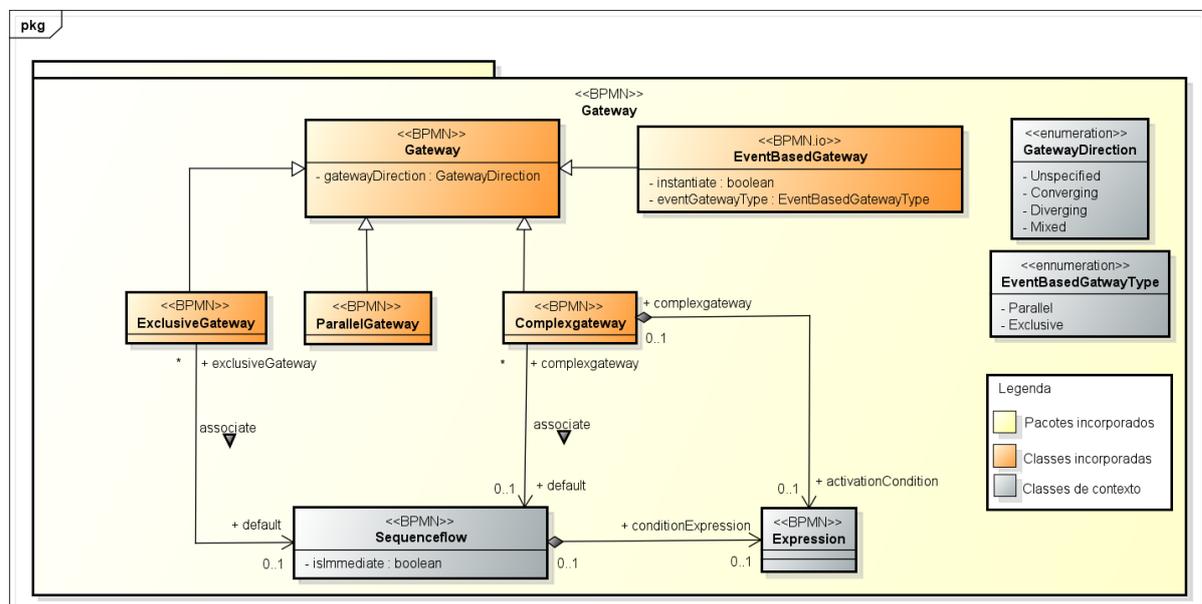


Figura 42 – Desvios (*gateway*) utilizados para representar interoperabilidade em PoP

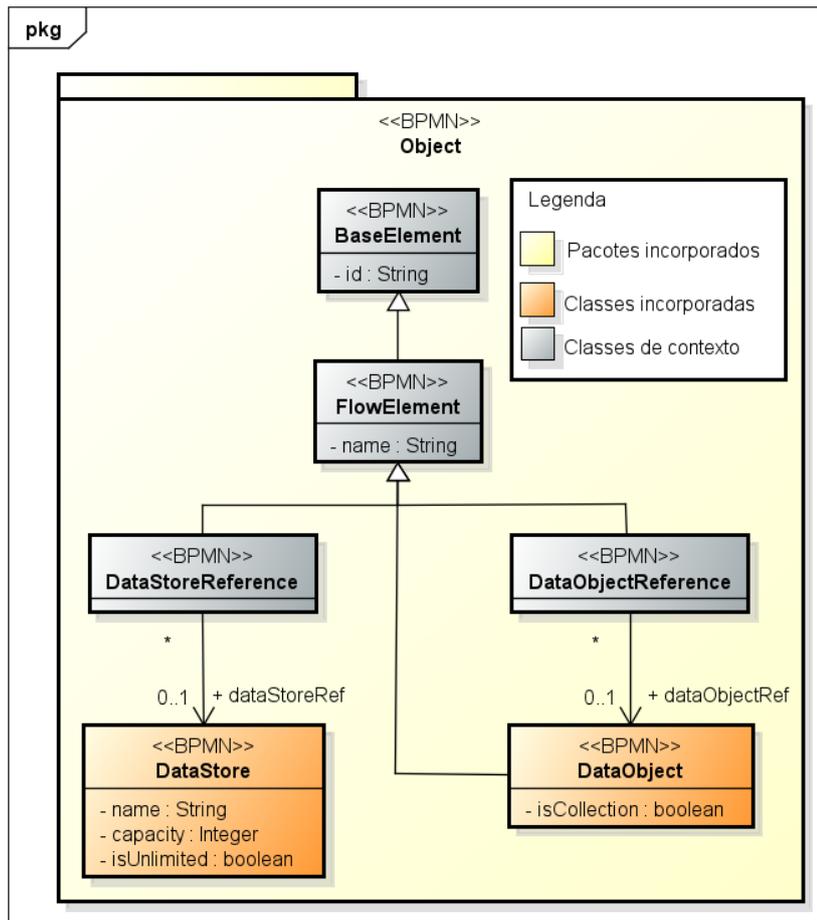


Figura 43 – Objetos (*object*) utilizados para representar interoperabilidade em PoP

4.6 Considerações Finais

Neste capítulo, foi possível identificar como a interoperabilidade é representada em BPMN dentro do contexto do PoP em cenários concretos de interoperabilidade. Com base na modelagem dos cenários concretos, seis cenários abstratos e uma variante deles foram definidos e avaliados, obtendo-se um dos artefatos propostos neste trabalho de mestrado.

A avaliação dos cenários abstratos por especialistas em BPMN possibilitou um avanço significativo para compreender a representação da interoperabilidade em diversos casos, como múltiplos sistemas constituintes, restrições de tempo, restrições em caso de falha na comunicação, associações com objetos para armazenamento ou informações adicionais e abstração de fluxos por meio de piscinas com modo de visualização privado.

Como resultado desse avanço, foi viabilizada a extensão do metamodelo do PoP por meio da incorporação das classes da especificação da [OMG \(2014a\)](#) correspondentes aos elementos BPMN presentes nos cenários abstratos de interoperabilidade, bem como relacionamentos de dependência dessas classes com as classes do metamodelo original. Como resultado, será possível utilizar os elementos BPMN identificados nos cenários abstratos como fontes potenciais de informação para a extração de requisitos de interoperabilidade,

conforme diretrizes definidas no Capítulo 5.

5 Extração de Requisitos de Interoperabilidade de SoS a partir de PoP

5.1 Considerações Iniciais

Buscando facilitar a extração de requisitos de interoperabilidade de SoS alinhados ao negócio com o intuito de alcançar os objetivos de negócio de alianças de organizações, este capítulo apresenta um conjunto de diretrizes para a extração sistemática desse tipo de requisito não funcional a partir do Modelo Detalhado de Missão do PoP. Essas diretrizes de extração em conjunto com o metamodelo estendido do PoP obtido no capítulo anterior, compõem a abordagem proposta neste projeto de mestrado. Além disso, uma ferramenta de apoio foi construída para avaliar as diretrizes definidas e também para automatizar a extração dos requisitos de interesse.

A Seção 5.2 apresenta a definição das diretrizes para a extração de requisitos de interoperabilidade de SoS, detalhando o formato para especificar esses requisitos e o algoritmo para sua extração. A Seção 5.3 descreve um estudo de caso que aplica manualmente o algoritmo de extração em um PoP real com o objetivo de avaliar as diretrizes definidas. Em seguida, a Seção 5.4 aborda a construção de uma ferramenta, que foi desenvolvida como um módulo na ferramenta *PoP Modeler*, para automatizar a extração desses requisitos conforme o algoritmo definido, percorrendo sobre suas funcionalidades e validação conduzida. Por fim, a Seção 5.5 apresenta as considerações finais deste capítulo.

5.2 Estabelecimento das diretrizes

As diretrizes definidas neste capítulo tiveram como ponto de partida um trabalho que busca estabelecer diretrizes para a extração de requisitos de SoS, utilizando o PoP como fonte de informação (CAGNIN; NAKAGAWA, 2024).

Nesse estudo, os autores utilizam os elementos do metamodelo de PoP (CAGNIN; NAKAGAWA, 2022b) como fonte de informação preciosa para identificar três classes de requisitos de SoS (funcionais, não funcionais e de comportamentos emergentes de SoS). Porém, não levam em consideração elementos específicos da notação BPMN utilizada na representação dos modelos de PoP.

De acordo com Cagnin e Nakagawa (2024), os principais benefícios que motivaram a extração de requisitos de SoS a partir do PoP são a obtenção de requisitos nitidamente alinhados às necessidades das alianças de organizações e o mapeamento direto entre os elementos do PoP e os elementos que fazem parte da especificação dos requisitos.

As diretrizes de extração de requisitos de interoperabilidade de SoS a partir de PoP foram estabelecidas mediante a execução de quatro etapas. Nas duas primeiras etapas, realizou-se um estudo para identificar elementos BPMN dos cenários abstratos (Seção 4.5 do Capítulo 4) que são relevantes para a identificação e especificação de requisitos de interoperabilidade de SoS. Na terceira etapa, foram definidos formatos textuais para especificar esses requisitos. Por fim, na quarta e última etapa, foi definido um algoritmo para extrair os requisitos de interesse e especificá-los utilizando um dos formatos estabelecidos.

Em mais detalhes, a **primeira etapa** para o estabelecimento das diretrizes que compõem a abordagem proposta foi analisar e identificar os elementos BPMN que estão presentes na representação da interoperabilidade no contexto de PoP, conforme descrito nos cenários abstratos do Capítulo 4 e presentes no metamodelo estendido do PoP (Figura 39 da Seção 4.5) em destaque laranja.

No decorrer desta primeira etapa, foram desenvolvidas tabelas auxiliares para orientar a construção das diretrizes para a extração dos requisitos. Preliminarmente, uma tabela foi elaborada para documentar os elementos da origem da mensagem (Tabela 9) e outra para registrar os elementos do destino da mensagem (Tabela 10).

Foi observado que os elementos “Tarefa de Envio” ou “Tarefa de Recebimento” podem estar conectados a outros elementos BPMN que impactam o processo de envio ou recebimento de mensagens. Esses elementos podem incluir eventos de borda intermediários do tipo erro ou tempo. Por exemplo, se houver um evento de borda de tempo, o fluxo de envio ou recebimento será interrompido. Isso pode afetar a quantidade de mensagens enviadas ou recebidas. Da mesma forma, se houver um evento intermediário de borda de erro, o fluxo principal será interrompido para executar o tratamento de erro que será usado para identificar uma falha durante o envio ou recebimento. Isso afetará também a quantidade de mensagens enviadas ou recebidas.

Tabela 9 – Resultado da análise de elementos BPMN da origem da mensagem

Elemento BPMN	Ação
Evento de fim de mensagem	O fluxo de origem é finalizado com o envio desta mensagem
Tarefa de envio	Realiza o envio de mensagem em um determinado contexto (descrição da tarefa)
Evento Intermediário de envio	O fluxo aguarda o envio da mensagem para outro processo (externo a piscina) para prosseguir
Piscina	O constituinte realiza o envio de mensagem de modo privado
Evento de Borda Tempo	Caso tenha passado determinado tempo (descrição do evento) deve-se interromper o fluxo de envio de mensagem e executar as próximas ações conectadas ao fluxo de sequência

Evento de Borda Tempo (Sem interromper)	Caso tenha passado determinado tempo (descrição do evento), um fluxo de forma paralela é ativado, porém o envio de mensagens não é interrompido
Evento de Borda Erro	Caso ocorra um erro durante o envio de mensagem, deve-se interromper o fluxo de envio de mensagem e executar as próximas ações conectadas ao fluxo de sequência
Objeto de Dados	Representa a existência de um contrato que pode possuir informações sobre o formato da mensagem, modo de envio e contexto para uso
Repositório de dados	Indica que o conteúdo da mensagem está armazenado em um repositório de dados específico na modelagem o qual será consultado para obter os dados a serem enviados

Tabela 10 – Resultado da análise de elementos BPMN do destino da mensagem

Elemento BPMN	Ação
Evento de início de mensagem	O fluxo é iniciado a partir do recebimento de uma mensagem
Tarefa de recebimento	Realiza o recebimento de mensagem em um determinado contexto (descrição da tarefa)
Evento Intermediário de recebimento	O fluxo aguarda o recebimento de uma mensagem de outro processo (externo a piscina) para prosseguir
Piscina	O constituinte realiza o recebimento de mensagem de modo privado
Evento de Borda Tempo	Caso tenha passado determinado tempo (descrição do evento) deve-se interromper o fluxo de recebimento de mensagem e executar as próximas ações conectadas ao fluxo de sequência
Evento de Borda Tempo (Sem interromper)	Caso tenha passado determinado tempo (descrição do evento), um fluxo paralelo é ativado, porém o recebimento de mensagens não é interrompido
Evento de Borda Erro	Caso ocorra um erro durante o recebimento de mensagem, deve-se interromper o fluxo de recebimento de mensagem e executar as próximas ações conectadas ao fluxo de sequência
Objeto de Dados	Representa a existência de um contrato que pode possuir informações sobre o formato da mensagem, modo de envio e contexto para uso
Repositório de dados	Indica que o conteúdo da mensagem recebida será armazenado em um repositório de dados específico na modelagem

Com a criação da Tabela 9 e da Tabela 10, observa-se que o comportamento esperado dos elementos de origem e destino possui certas similaridades. Essas incluem a identificação de falhas, a quantidade de mensagens enviadas ou recebidas, a origem

ou destino dos dados da mensagem, as restrições de tempo para envio ou recebimento de mensagens e os acordos para envio e recebimento da mensagem. Essas similaridades proporcionam uma simplificação nas etapas do algoritmo de extração de informações para a composição do requisito, uma vez que os pontos de observação são os mesmos, mudando apenas a nomenclatura utilizada para sua descrição.

Após compreender o comportamento esperado dos elementos BPMN que impactam na interoperabilidade, na **segunda etapa** de definição das diretrizes foi realizada uma análise para determinar quais informações seriam necessárias para a especificação de um requisito de interoperabilidade de SoS. Para isso, alguns campos definidos por [Cagnin e Nakagawa \(2024\)](#) foram reutilizados (ou seja, ID, Classe, Sujeito, Ação e Rastreabilidade) e os campos Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade, Condição da interoperabilidade e todos campos presentes nos grupos de campos envio e recebimento foram definidos neste trabalho com o objetivo de facilitar a extração de informações do requisito de acordo com os elementos BPMN analisados (Tabelas 9 e 10).

Como resultado da segunda etapa, a Tabela 11 foi criada contendo todos os campos necessários para especificar os requisitos de interoperabilidade de forma detalhada.

Tabela 11 – Campos para especificar requisitos de interoperabilidade de SoS

Grupo de Campos	Campo	Descrição
-	ID	Identificador único do requisito
	Classe	Interoperabilidade
	Sujeito	Sujeito do requisito; neste caso, é o próprio SoS
	Ação	Interoperabilidade entre dois constituintes para a realização de uma comunicação
	Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	Existência de descrição no atributo do fluxo de mensagem
	Condição da interoperabilidade	Existência de acordos entre as organizações dos sistemas constituintes (CONTRATO)
	Quantidade de mensagens enviadas	Obtido pela observação de múltipla instância do elemento que realiza o envio de mensagem
	Restrições de tempo para envio da mensagem	Obtido pela observação de eventos de borda de tempo que interrompem o fluxo
	Origem dos dados durante o envio da mensagem	Obtido a partir da observação da associação de um repositório ao elemento de envio
	Falha durante o envio da mensagem	Obtido pela observação de eventos de borda de erro

Envio		Continuação da página anterior	
	Fluxo de envio de mensagem de modo privado		Condição existente apenas quando o constituinte de envio possui uma piscina com modo de visualização privado
Recebimento	Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte		Obtido pela observação de múltipla instância do elemento que realiza o recebimento de mensagem
	Restrições de tempo para recebimento da mensagem		Obtido pela observação de eventos de borda de tempo que interrompem o fluxo
	Destino dos dados durante o recebimento da mensagem		Obtido a partir da observação da associação de um repositório ao elemento de recebimento
	Falha durante o recebimento da mensagem		Obtido pela observação de eventos de borda de erro
	Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado		Condição existente apenas quando o constituinte de recebimento possui uma piscina com modo de visualização privado
-	Rastreabilidade		Descrição para identificação rápida dos elementos BPMN que foram observados para elicitação e especificação do requisito

Inicialmente, na **terceira etapa**, foi definido um formato apresentado na Tabela 12 para padronizar a descrição de cada campo do requisito, facilitando a especificação do requisito, uma vez que foram definidas variáveis cujos valores são obtidos a partir da análise dos elementos BPMN referentes ao campo. Para cada variável presente nessa tabela, é definida sua fonte de informação na Tabela 13.

Tabela 12 – Formato detalhado para a especificação do requisito de interoperabilidade de SoS

Campo	Formato textual
Ação	CONSTITUINTE_ ORIGEM deve interoperar com CONSTITUINTE_ DESTINO para ROTULO_ ELEMENTO_ ORIGEM
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	NOME_ FLUXO_ DE_ MENSAGEM
Condição da interoperabilidade	Existe um acordo para formalização da mensagem definido em: ROTULO_ OBJETO_ DADOS
Quantidade de mensagens enviadas	CONSTITUINTE_ ORIGEM envia QUANTIDADE_ MENSAGENS_ ENVIO para CONSTITUINTE_ DESTINO

Continuação da página anterior

Campo	Formato textual
Restrições de tempo para envio da mensagem	O envio de mensagem será realizado durante ROTULO__EVENTO__TEMPO__ENVIO
Origem dos dados durante o envio da mensagem	Os dados são obtidos a partir de um repositório de dados: ROTULO__REPOSITORIO__LEITURA
Falha durante o envio da mensagem	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado
Fluxo de envio de mensagem de modo privado	O envio da mensagem é realizado de modo independente
Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte	CONSTITUINTE__DESTINO recebe QUANTIDADE__MENSAGENS__RECEBIMENTO de CONSTITUINTE__ORIGEM
Restrições de tempo para recebimento da mensagem	O recebimento de mensagem será realizado durante ROTULO__EVENTO__TEMPO__RECEBIMENTO
Destino dos dados durante o recebimento da mensagem	Os dados são armazenados em um repositório de dados: ROTULO__REPOSITORIO__ARMAZENAMENTO
Falha durante o recebimento da mensagem	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, o recebimento da mensagem é interrompido e o tratamento de erro é executado
Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado	O recebimento da mensagem é realizado de modo independente
Rastreabilidade	TIPO__ELEMENTO__ORIGEM (ROTULO__ELEMENTO__ORIGEM) / TIPO__ELEMENTO__DESTINO (ROTULO__ELEMENTO__DESTINO)

Tabela 13 – Elementos BPMN utilizados na extração dos requisitos

Variável	Fonte de informação
CONSTITUINTE__ORIGEM	Nome definido para a (Piscina) que dá origem ao envio da mensagem
TIPO__ELEMENTO__ORIGEM	Tipo de elemento que dá origem ao envio da mensagem (Piscina , Tarefa ou Evento)
ROTULO__ELEMENTO__ORIGEM	Nome definido para o elemento que dá origem ao envio da mensagem (Piscina , Tarefa ou Evento)
QUANTIDADE__MENSAGENS__ENVIO	Obtida pela análise da multiplicidade anexada ao elemento de envio de mensagem

ROTULO_EVENTO_TEMPO_ENVIO	Nome definido para o elemento Evento intermediário de tempo durante o envio de mensagem
ROTULO_REPOSITORIO_LEITURA	Nome definido para o elemento Objeto repositório de dados , utilizado para leitura de dados
ROTULO_OBJETO_DADOS	Nome definido para o elemento Objeto de dados referenciado
NOME_FLUXO_DE_MENSAGEM	Nome definido para o elemento Fluxo de mensagem
CONSTITUINTE_DESTINO	Nome definido para a o elemento Piscina) que dá destino ao recebimento da mensagem
QUANTIDADE_MENSAGENS_RECEBIMENTO	Obtida pela análise da multiplicidade anexada ao elemento de recebimento de mensagem
ROTULO_EVENTO_TEMPO_RECEBIMENTO	Nome definido para o elemento Evento intermediário de tempo durante o recebimento de mensagem
ROTULO_REPOSITORIO_ARMAZENAMENTO	Nome definido para o elemento Objeto repositório de dados utilizado para armazenamento
TIPO_ELEMENTO_DESTINO	Tipo de elemento que dá destino ao recebimento da mensagem (Piscina, Tarefa ou Evento)
ROTULO_ELEMENTO_DESTINO	Nome definido para o elemento que dá destino ao recebimento da mensagem (Piscina, Tarefa ou Evento)

Posteriormente, na terceira etapa, para uma visualização mais clara da especificação do requisito de interoperabilidade, também foi definido um formato de especificação de requisito compacto. Esse formato realiza a síntese dos resultados dos grupos de campos da Tabela 11 em variáveis utilizadas na descrição textual detalhada. Por exemplo, a variável CONDICOES_ENVIO representa a síntese de todos os campos pertencentes ao grupo de campo Envio, enquanto a variável CONDICOES_RECEBIMENTO representa a síntese de todos os campos pertencentes ao grupo de campo Recebimento. O formato compacto é exibido na Tabela 14.

Tabela 14 – Formato compacto para a especificação do requisito de interoperabilidade de SoS

Campo	Descrição
ID	Identificador único do requisito
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	Sujeito do requisito; neste caso, é o próprio SoS.
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	MESSAGE_ FLOW_ NAME
Condição da interoperabilidade	Existe um acordo para formalização da mensagem definido em: ROTULO_ OBJETO_ DADOS
Descrição textual detalhada	ACAO_ TEXTUAL, considerando para o envio que CONDICoes_ ENVIO; e considerando para o recebimento que CONDICoes_ RECEBIMENTO
Rastreabilidade	TIPO_ ELEMENTO_ ORIGEM (ROTULO_ ELEMENTO_ ORIGEM) / TIPO_ ELEMENTO_ DESTINO (ROTULO_ ELEMENTO_ DESTINO)

Por fim, na **quarta etapa** do estabelecimento das diretrizes que constituem a abordagem proposta, foi definido um algoritmo para a extração dos requisitos de interoperabilidade de SoS cujos passos estão apresentados na Figura 44.

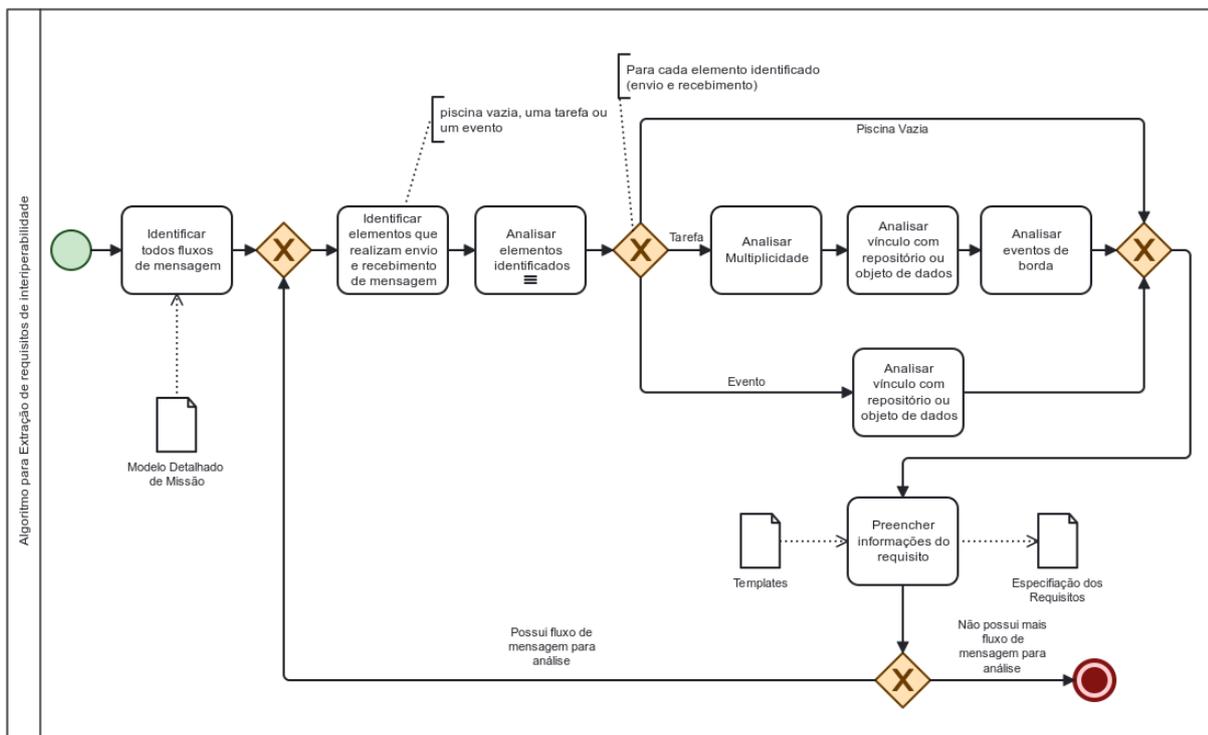


Figura 44 – Algoritmo para extração de requisitos de interoperabilidade a partir de modelos do PoP

Para realizar a extração dos requisitos não funcionais de interoperabilidade a partir de informações do PoP, o primeiro passo é identificar todos os fluxos de mensagens presentes em um Modelo Detalhado de Missão do PoP. Um fluxo de mensagem é definido

no modelo somente se houver uma troca de mensagens entre dois constituintes distintos. Portanto, para cada fluxo de mensagem, um requisito de interoperabilidade deve ser definido.

Para cada fluxo de mensagem, é necessário identificar os elementos BPMN que realizam o envio e o recebimento da mensagem. Esses elementos podem ser uma piscina vazia, uma tarefa ou um evento. Para cada elemento, é feita inicialmente sua identificação e preenchimento das variáveis **CONSTITUINTE__ ORIGEM**, **TIPO__ ELEMENTO__ ORIGEM** e **ROTULO__ ELEMENTO__ ORIGEM** caso seja um elemento de envio de mensagem. Por outro lado, as variáveis **CONSTITUINTE__ DESTINO**, **TIPO__ ELEMENTO__ DESTINO** e **ROTULO__ ELEMENTO__ DESTINO** são preenchidas caso seja um elemento de recebimento de mensagem.

Se for uma **piscina vazia**, significa que o processo de envio ou recebimento está sendo realizado de modo privado e, portanto, não é possível identificar detalhes da comunicação. Em outras palavras, não é possível preencher as informações das variáveis relacionadas às condições de envio ou recebimento, devendo apenas preencher os campos “Fluxo de envio de mensagem de modo privado” ou “Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado” que possuem valor estático, além de preencher o valor da variável **CONSTITUINTE__ ORIGEM** ou **CONSTITUINTE__ DESTINO** com o próprio nome da piscina analisada.

Se o elemento analisado for uma **tarefa**, é necessário analisar seus atributos. Se a tarefa possuir o atributo de multiplicidade vinculado, significa que mais de uma mensagem será enviada ou recebida, devendo assim preencher o valor das variáveis **QUANTIDADE__ MENSAGENS__ ENVIO** ou **QUANTIDADE__ MENSAGENS__ RECEBIMENTO** com o valor “vários”. Caso a tarefa não tenha o atributo de multiplicidade vinculado a ela, a variável deve ser preenchida com o valor “um”.

Além disso, se houver **eventos de borda** vinculados à tarefa, é necessário identificar o tipo desses eventos. Se for um **evento intermediário de tempo**, isso indica que o envio ou recebimento de mensagens possui um tempo limitante, o que pode afetar a quantidade de mensagens enviadas, especialmente se o evento interromper o fluxo principal para sua execução, portanto as variáveis **ROTULO__ EVENTO__ TEMPO__ ENVIO** ou **ROTULO__ EVENTO__ TEMPO__ RECEBIMENTO** devem ser preenchidas. Caso seja um **evento de borda de erro**, isso indica que, se ocorrer uma falha durante o envio ou recebimento, o fluxo principal é interrompido e o tratamento de erro é acionado, indicando o preenchimento do campo “Falha durante o envio da mensagem” ou “Falha durante o recebimento da mensagem” que possuem valor estático.

Se for um evento, o processo de envio ou recebimento pode possuir um repositório ou um objeto de dados associado, e o mesmo comportamento também é observado para uma tarefa.

Se o **repositório** estiver vinculado ao envio, significa que a mensagem é obtida a partir desse repositório devendo assim preencher a variável **ROTULO__REPOSITORIO__LEITURA**. Por outro lado, se estiver vinculado ao recebimento, significa que a mensagem será armazenada nesse repositório, devendo assim preencher a variável **ROTULO__REPOSITORIO__ARMAZENAMENTO**.

Quanto ao **objeto de dados**, ele precisa estar vinculado tanto ao envio quanto ao recebimento como leitura, ou seja, o sentido da navegação dos elementos deve apontar para o objeto. Se estiver, significa a existência de acordos entre as organizações dos sistemas constituintes, por meio de um contrato que está definido nesse objeto. Portanto, deve-se preencher o valor da variável **ROTULO__OBJETO__DADOS**.

Após a análise dos elementos de envio e recebimento de um fluxo de mensagem, todas as variáveis da Tabela 13 foram definidas. Portanto, a especificação do requisito de interoperabilidade deve ser realizada de acordo com um dos formatos estabelecidos (Tabela 12 ou Tabela 14).

Devido às condições distintas para cada tipo de elemento BPMN, um requisito em sua forma detalhada ou compacta pode possuir campos não definidos por não se enquadrarem no tipo de situação para sua descrição. Nesse caso, esses campos e variáveis devem ser deixados em branco e poderão ser preenchidos pelo engenheiro de requisitos do SoS.

5.3 Estudo de caso: Aplicação das diretrizes em um PoP Real

Para avaliar as diretrizes definidas, foi conduzido um estudo de caso descritivo (WHOLIN et al., 2000), buscando evidências a partir das especificações dos requisitos extraídos (RALPH et al., 2020). O **objetivo** desse estudo de caso é observar a aplicação das diretrizes **com respeito ao** apoio no processo de extração sistemática de requisitos de interoperabilidade **no contexto de** um Sistemas-de-Sistemas (SoS) real, utilizando um Modelo Detalhado de Missão (especificamente, a missão de “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal”) de um Processo de Processos (PoP) no domínio agropecuário (SPERANZA; VISOLI; CARROMEU, 2022), sob o ponto de vista de um especialista em BPMN.

Para a condução do estudo de caso, foi seguido o algoritmo descrito na seção anterior para realizar a extração manual dos requisitos de interoperabilidade do SoS Bem-Estar Animal (Seção 4.2.1, Capítulo 4). Esse SoS foi escolhido para o estudo de caso devido à quantidade distinta de sistemas constituintes que realizam processos de comunicações frequentes com o objetivo de unir dados de sistemas distintos para síntese e geração dos índices de bem-estar animal. Além disso, possui uma ampla quantidade de fluxos de mensagens que contemplam a maioria dos casos para análise e preenchimento dos campos

previstos nos formatos de especificação de requisitos interoperabilidade da abordagem proposta.

A Figura 18 apresenta o Modelo Detalhado da Missão “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal” do PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, utilizado neste estudo de caso como fonte de informação para a extração dos requisitos de interoperabilidade do SoS Bem-estar Animal. Nesse PoP, há um total de dezoito trocas de mensagem entre os processos constituintes que configuram a interoperabilidade entre eles.

Durante a execução do algoritmo, ficou evidente a clara similaridade no comportamento dos elementos durante o envio ou recebimento, além da confirmação do fluxo de execução do algoritmo para descoberta e análise das informações. Identificou-se que os campos “Ação”, “Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade”, “Condição da interoperabilidade” e “Rastreabilidade” utilizam informações de ambos os fluxos (envio e recebimento) e, portanto, devem ser preenchidos sempre ao final da análise de um fluxo de mensagem.

Como resultado, foram extraídos manualmente 18 requisitos de interoperabilidade a partir do Modelo Detalhado de Missão de interesse deste estudo. O PoP utilizado possui nove sistemas constituinte e diversas comunicações são realizadas de modo similar, possuindo a mesma quantidade de campos preenchidos na especificação dos requisitos, assim como elementos de origem e destino similares. Dessa forma, foram selecionados quatro requisitos distintos para discussão e análise nesta seção, enquanto os demais requisitos extraídos são apresentados no Apêndice E.

A Tabela 15 indica os elementos de origem e de destino considerados na extração desses quatro requisitos, bem como a referência da parte do Modelo Detalhado de Missão correspondente e a referência das tabelas que contém as especificações detalhada e compacta do requisito de interoperabilidade extraído.

Tabela 15 – Rastreabilidade dos requisitos extraídos

ID	Elemento Origem	Elemento Destino	Especificação Detalhada	Especificação Compacta	Representação Interoperabilidade
1	Tarefa (Transmitir lista de pesos dos bovinos)	Piscina (COIMMA)	Tabela 16	Tabela 17	Figura 45
3	Piscina (IN-DEXT)	Evento (Retorno da transmissão)	Tabela 18	Tabela 19	Figura 46

15	Tarefa (Requisitar indicadores de bem estar animal)	Evento (Requisição para consulta de índices de bem estar animal)	Tabela 20	Tabela 21	Figura 47
18	Evento (Enviar resultados)	Tarefa (Receber indicadores de bem estar animal)	Tabela 22	Tabela 23	Figura 48

O primeiro requisito de interoperabilidade está indicado em amarelo na Figura 45 e é extraído a partir do fluxo de mensagem que tem como origem uma tarefa de envio de mensagem para transmitir a lista de peso dos bovinos do constituinte *Ballpass* para o elemento de destino, representado por uma piscina privada do constituinte *Coimma*.

Seguindo os passos do algoritmo, ao analisar o elemento de origem, deve-se observar se existem eventos de borda vinculados. Neste caso, existe um evento intermediário de erro. Outro ponto de observação importante previsto no algoritmo é o vínculo de objeto repositório de dados. Neste caso, por ser uma tarefa de envio, é verificada a navegabilidade, o que indica que os dados são lidos de um repositório para o envio da mensagem, devendo assim ser indicado no requisito essa informação. Para o caso do elemento de destino, por ser uma piscina privada, o algoritmo indica que não há mais informações para extração.

Dessa maneira, os campos “ID”, “Classe”, “Sujeito”, “Ação”, “Quantidade de mensagens enviadas”, “Origem dos dados durante o envio da mensagem”, “Falha durante o envio da mensagem”, “Quantidade de mensagens recebidas”, “Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado” e “Rastreabilidade” são preenchidos na especificação do requisito e podem ser visualizados nas Tabelas 16 e 17, que representam respectivamente as versões detalhada e compacta do primeiro requisito de interoperabilidade extraído.

Tabela 16 – Requisito de Interoperabilidade detalhado extraído manualmente - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Grupo de Campos	Campo	Descrição
	ID	01
	Classe	Interoperabilidade
	Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
	Ação	BallPass deve interoperar com COIMMA para Transmitir lista de pesos dos bovinos
	Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-

- **Continuação da página anterior**

Grupo de Campos	Campo	Descrição
-	Condição da interoperabilidade	-
Envio	Quantidade de mensagens enviadas	BallPass envia uma mensagem para COIMMA
	Restrições de tempo para envio da mensagem	-
	Origem dos dados durante o envio da mensagem	Os dados são obtidos a partir de um repositório de dados: Repositório de pesagem dos bovinos
	Falha durante o envio da mensagem	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado
	Fluxo de envio de mensagem de modo privado	-
Recebimento	Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte	COIMMA recebe uma mensagem de BallPass
	Restrições de tempo para recebimento da mensagem	-
	Destino dos dados durante o recebimento da mensagem	-
	Falha durante o recebimento da mensagem	-
	Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado	O recebimento da mensagem é realizado de modo independente
-	Rastreabilidade	Tarefa(Transmitir lista de pesos dos bovinos)/Piscina(COIMMA)

Tabela 17 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	01
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-

Descrição textual detalhada	BallPass deve interoperar com COIMMA para Transmitir lista de pesos dos bovinos, considerando para o envio que os dados são obtidos a partir de um repositório de dados: Repositório de pesagem dos bovinos; BallPass envia uma mensagem para COIMMA; Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado; e considerando para o recebimento que o recebimento da mensagem é realizado de modo independente; COIMMA recebe uma mensagem de BallPass.
Rastreabilidade	Tarefa(Transmitir lista de pesos dos bovinos)/Piscina(COIMMA)

O segundo requisito de interoperabilidade está indicado em amarelo na Figura 46 e é extraído a partir do fluxo mensagem que possui como elemento de origem uma piscina privada do constituinte *Indext* e como destino um evento intermediário de recebimento de mensagem com rótulo “retorno da transmissão” do constituinte *BEP - Bovine Electronic Plataform*. Comparado com o requisito extraído anteriormente, este possui uma quantidade de informações inferior. Isso se deve ao fato de o elemento de origem ser uma piscina privada, não fornecendo informações sobre como o envio será feito. O elemento de destino, por ser um evento, indica que apenas o recebimento da mensagem é feito, não havendo a possibilidade de execução de fluxos alternativos durante o recebimento. Assim, cabe apenas a análise de vínculo de objetos de dados ou repositório de dados, os quais não possui.

Dessa forma, após a execução do algoritmo e preenchimento dos dados, é possível obter a especificação do requisito extraído. As Tabelas 18 e 19 representam as versões detalhada e compacta, respectivamente, da especificação do segundo requisito de interoperabilidade extraído.

Tabela 18 – Requisito de Interoperabilidade extraído manualmente - ID 03 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Grupo de Campos	Campo	Descrição
	ID	03
	Classe	Interoperabilidade
	Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Continuação da página anterior

Grupo de Campos	Campo	Descrição
-	Ação	INDEXT deve interoperar com BEP - Bovine Electronic Platform para envio de informações (processo de envio independente)
	Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
	Condição da interoperabilidade	-
Envio	Quantidade de mensagens enviadas	INDEXT envia uma mensagem para BEP - Bovine Electronic Platform
	Restrições de tempo para envio da mensagem	-
	Origem dos dados durante o envio da mensagem	-
	Falha durante o envio da mensagem	-
	Fluxo de envio de mensagem de modo privado	O envio da mensagem é realizado de modo independente
Recebimento	Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte	BEP - Bovine Electronic Platform recebe uma mensagem de INDEXT
	Restrições de tempo para recebimento da mensagem	-
	Destino dos dados durante o recebimento da mensagem	-
	Falha durante o recebimento da mensagem	-
	Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado	-
-	Rastreabilidade	Piscina(INDEXT)/Evento(Retorno da transmissão)

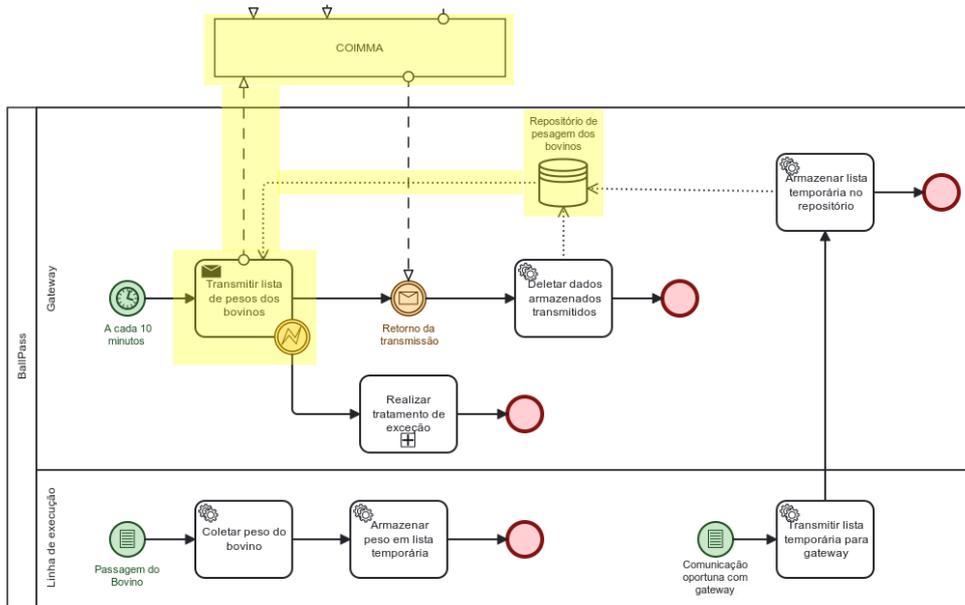


Figura 45 – Indicação do fluxo de mensagem para extração do requisito de interoperabilidade - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

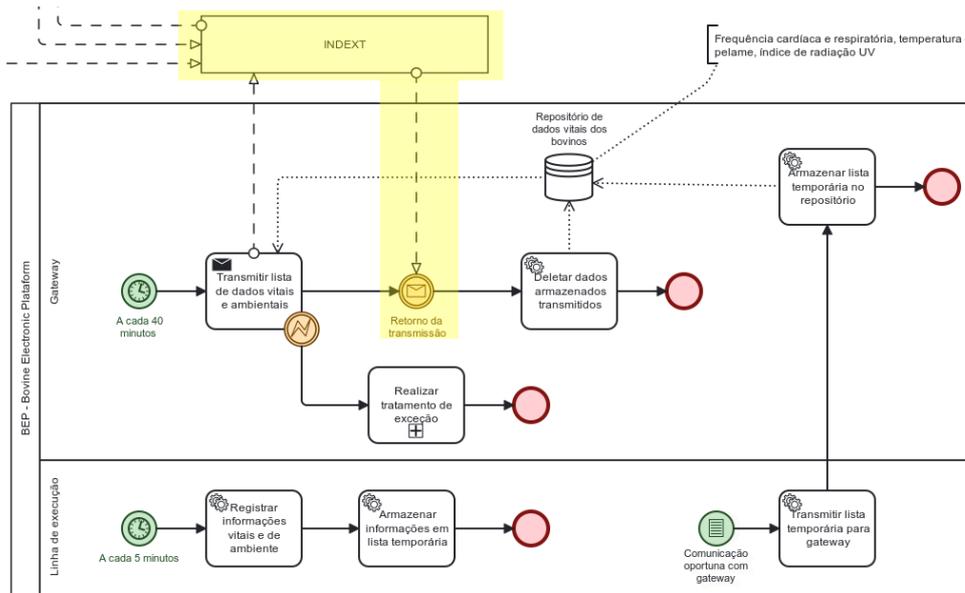


Figura 46 – Indicação do fluxo de mensagem para extração do requisito de interoperabilidade - ID 03 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Tabela 19 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 03 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	03
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-

Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	INDEXT deve interoperar com BEP - Bovine Electronic Platform para envio de informações (processo de envio independente), considerando para o envio que o envio da mensagem é realizado de modo independente, INDEXT envia uma mensagem para BEP - Bovine Electronic Platform; e considerando para o recebimento que BEP - Bovine Electronic Platform recebe uma mensagem de INDEXT.
Rastreabilidade	Piscina(INDEXT)/Evento(Retorno da transmissão)

O terceiro requisito de interoperabilidade está indicado em amarelo na Figura 47 e é extraído a partir do fluxo mensagem que possui como elemento de origem uma tarefa para requisitar indicadores de bem-estar animal do constituinte *Aplicativo Mobile* e como destino um evento de início de recebimento de mensagem com rótulo “Requisição para consulta de índices de bem-estar animal” do constituinte *Dojot*.

Comparado com o segundo requisito extraído, é possível observar que os campos preenchidos são similares, como a ação, quantidade de mensagens enviadas e quantidade de mensagens recebidas. Isso ocorre porque essas informações, independentemente do tipo de elemento, são passíveis de análise. Neste caso, de forma similar ao requisito 01 existe o vínculo de um evento de borda de erro associado, preenchendo assim o seu valor. No entanto, no caso desse requisito, haveria a possibilidade do preenchimento de mais campos ou outros valores, caso existissem eventos intermediários de borda de tempo, objetos vinculados ou o atributo de multiplicidade definido para o elemento, por se tratar de uma tarefa.

Assim, após a execução do algoritmo e preenchimento dos campos, é possível obter a especificação do requisito extraído. As Tabelas 20 e 21 exibem as versões detalhada e compacta, respectivamente, do terceiro requisito de interoperabilidade extraído.

Tabela 20 – Requisito de Interoperabilidade extraído manualmente - ID 15 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Grupo de Campos	Campo	Descrição
	ID	15
	Classe	Interoperabilidade
	Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Continuação da página anterior

Grupo de Campos	Campo	Descrição
-	Ação	Aplicativo Mobile deve interoperar com Dojot para Requisitar indicadores de bem estar animal
	Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
	Condição da interoperabilidade	-
Envio	Quantidade de mensagens enviadas	Aplicativo Mobile envia uma mensagem para Dojot
	Restrições de tempo para envio da mensagem	-
	Origem dos dados durante o envio da mensagem	-
	Falha durante o envio da mensagem	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado
	Fluxo de envio de mensagem de modo privado	-
Recebimento	Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte	Dojot recebe uma mensagem de Aplicativo Mobile
	Restrições de tempo para recebimento da mensagem	-
	Destino dos dados durante o recebimento da mensagem	-
	Falha durante o recebimento da mensagem	-
	Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado	-
-	Rastreabilidade	Tarefa(Requisitar indicadores de bem estar animal)/Evento(Requisição para consulta de índices de bem estar animal)

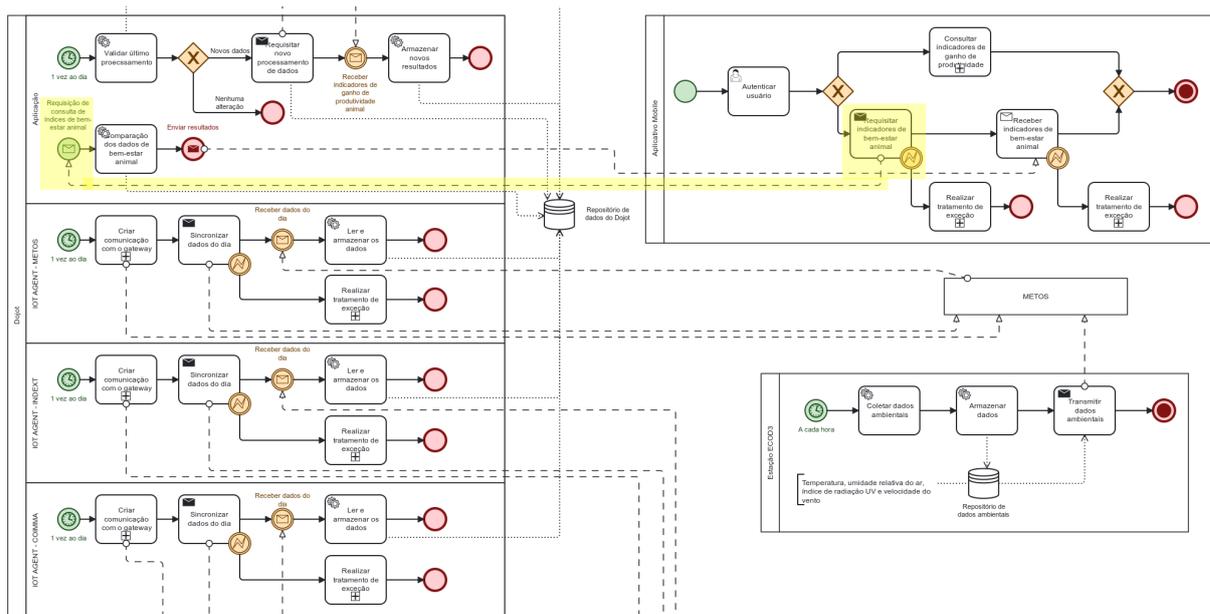


Figura 47 – Indicação do fluxo de mensagem para extração do requisito de interoperabilidade - ID 15 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Tabela 21 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 15 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	15
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	Aplicativo Mobile deve interoperar com Dojot para Requisitar indicadores de bem estar animal, considerando para o envio que Aplicativo Mobile envia uma mensagem para Dojot e caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado; e considerando para o recebimento que Dojot recebe uma mensagem de Aplicativo Mobile.
Rastreabilidade	Tarefa(Requisitar indicadores de bem estar animal)/Evento(Requisição para consulta de índices de bem estar animal)

O quarto requisito de interoperabilidade está indicado em amarelo na Figura 48 e é extraído a partir do fluxo mensagem que possui como elemento de origem um evento de fim

de envio de mensagem do constituinte *Dojot* e como destino uma tarefa de recebimento de mensagem para receber indicadores de bem-estar animal do constituinte *Aplicativo Mobile*. Esse requisito possui os mesmos campos preenchidos que o requisito anterior. As diferenças são o momento do tratamento de erro, que neste requisito será durante o recebimento e o tipo de evento, sendo que no terceiro requisito é um evento de início e, neste quarto requisito, é um evento de término. No entanto, ao analisar o algoritmo de extração, nota-se que o tipo de evento não é levado em consideração. Isso ocorre porque o requisito contempla apenas o contexto do momento de envio ou recebimento, e, portanto, o tipo de evento não afeta as informações presentes no requisito para sua interpretação.

Dessa forma, após a execução do algoritmo e preenchimento dos dados, é possível obter a especificação do requisito extraído. As Tabelas 22 e 23 exibem as versões detalhada e compacta da especificação do quarto requisito de interoperabilidade extraído.

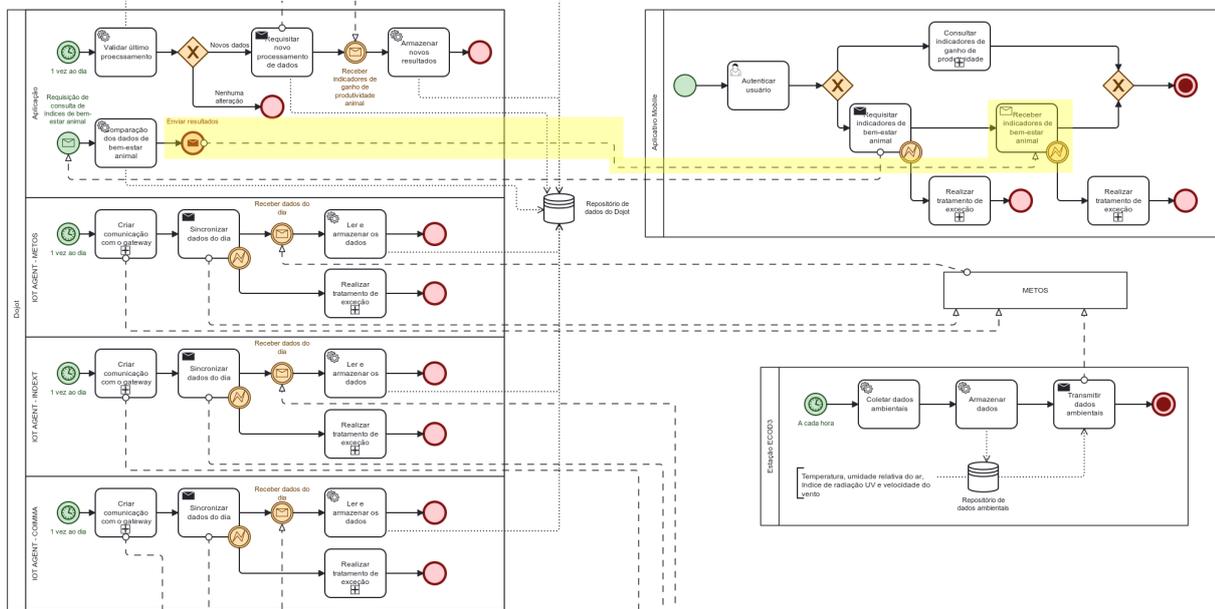


Figura 48 – Indicação do fluxo de mensagem para extração do requisito de interoperabilidade - ID 18 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Tabela 22 – Requisito de Interoperabilidade extraído manualmente - ID 18 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Grupo de Campos	Campo	Descrição
	ID	18
	Classe	Interoperabilidade
	Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
	Ação	Dojot deve interoperar com Aplicativo Mobile para Enviar resultados

Continuação da página anterior

Grupo de Campos	Campo	Descrição
-	Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
	Condição da interoperabilidade	-
Envio	Quantidade de mensagens enviadas	Dojot envia uma mensagem para Aplicativo Mobile
	Restrições de tempo para envio da mensagem	-
	Origem dos dados durante o envio da mensagem	-
	Falha durante o envio da mensagem	-
	Fluxo de envio de mensagem de modo privado	-
Recebimento	Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte	Aplicativo Mobile recebe uma mensagem de Dojot
	Restrições de tempo para recebimento da mensagem	-
	Destino dos dados durante o recebimento da mensagem	-
	Falha durante o recebimento da mensagem	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, o recebimento da mensagem é interrompido e o tratamento de erro é executado
	Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado	-
-	Rastreabilidade	Evento(Enviar resultados)/Tarefa(Receber indicadores de bem estar animal)

Tabela 23 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 18 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	18
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	Dojot deve interoperar com Aplicativo Mobile para Enviar resultados, considerando para o envio que Dojot envia uma mensagem para Aplicativo Mobile; e considerando para o recebimento que Aplicativo Mobile recebe uma mensagem de Dojot e caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, o recebimento da mensagem é interrompido e o tratamento de erro é executado.
Rastreabilidade	Evento(Enviar resultados)/Tarefa(Receber indicadores de bem estar animal)

Por fim, é importante observar que o Modelo Detalhado da Missão “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal” possui elementos de envio e recebimento de mensagens que não tem um fluxo de mensagem, como a tarefa “Transmitir lista temporária para gateway” ou o evento intermediário “Receber lista temporária” do constituinte *Ballpass*. Isso significa que existem trocas de mensagem de modo interno dentro do constituinte e, portanto, não há interoperabilidade. Assim, esses elementos não são analisados devido ao primeiro passo do algoritmo, que consiste na identificação dos fluxos de mensagem e, a partir dessa identificação, os elementos relacionados ao envio e recebimento são analisados para a extração do requisito de interoperabilidade correspondente.

5.3.1 Ameaças à validade

Em relação às ameaças à validade do estudo de caso realizado, destacam-se as seguintes: (i) Apenas um especialista em BPMN aplicou as diretrizes da abordagem proposta, o que pode afetar os resultados e gerar um viés principalmente na análise dos elementos BPMN do Modelo Detalhado de Missão para a geração dos requisitos. Para mitigar essa ameaça, um engenheiro de requisitos do SoS aprovou os requisitos resultantes. (ii) A seleção do cenário pode ser uma ameaça, ou seja, o PoP considerado no estudo.

Para contorná-la, foi escolhido um PoP real, extremamente útil para a organização envolvida e que é automatizado por sistemas que possuem características de SoS. (iii) Como as diretrizes propostas foram aplicadas em apenas um estudo de caso, os resultados não podem ser generalizados. No entanto, uma vez que o PoP e o SoS utilizados no estudo são reais, os resultados obtidos e as contribuições evidenciadas podem ser úteis para contextos similares, pois permitiram observar a capacidade das diretrizes propostas na extração sistemática de requisitos de interoperabilidade a partir de modelos do PoP.

5.4 Prova de conceito: Ferramenta de Extração de Requisitos de Interoperabilidade baseada em PoP

Com o objetivo de automatizar o processo de extração de requisitos interoperabilidade e validar as diretrizes definidas, foi realizada uma prova de conceito por meio da construção de uma ferramenta denominada PoP-IRE - *PoP-based Interoperability Requirements Extraction*). Essa ferramenta foi desenvolvida como um novo módulo na ferramenta *PoP Modeler* (Seção 2.5.3 do Capítulo 2) com o objetivo de extrair os requisitos de interoperabilidade a partir de Modelos Detalhados de Missão de PoP cadastrados na ferramenta.

Com isso, a ferramenta *PoP Modeler* além de ser utilizada por analistas de negócio de alianças de organizações para o gerenciamento e a modelagem de PoP, também poderá ser utilizada por engenheiros de requisitos de SoS que desejam conhecer os requisitos de interoperabilidade necessários aos SoS que automatizam os PoP.

Para a construção da PoP-IRE foram adotadas as mesmas arquitetura e tecnologias de backend (Framework Laravel Lumen e PostgreSQL) e frontend (React e Material IO) utilizadas no desenvolvimento da *PoP Modeler*.

A ferramenta possui registro *open source* e seu código pode ser acessado nos repositórios públicos <https://github.com/popmodeler/backend> e <https://github.com/popmodeler/frontend>, de modo complementar a documentação da ferramenta pode ser visualizada no endereço <https://popmodelerdoc.ledes.net>.

A extração de requisitos de interoperabilidade de um SoS tem como fonte de informação cada Modelo Detalhado de Missão de um PoP correspondente. Como pré-requisito para o uso da ferramenta desenvolvida neste trabalho, esse modelo deve estar armazenado em um arquivo no formato `.bpmn` que é uma estruturação em XML padronizada pela [OMG \(2014a\)](#). Na construção da ferramenta, foi necessário mapear a estrutura em XML utilizada para definição de cada elemento em BPMN de acordo com as ferramentas

utilizadas para gerar o Modelo Detalhado de Missão, sendo a Bizzagi¹ e bpmn.io².

5.4.1 Requisitos Funcionais

A ferramenta PoP-IRE tem como público-alvo analistas de requisitos de SoS, engenheiros de SoS e outros interessados na extração de requisitos de interoperabilidade de SoS. Os requisitos funcionais definidos para serem contemplados pela ferramenta estão elencados a seguir:

- RF-1: A ferramenta deve permitir a extração de requisitos de interoperabilidade de um SoS a partir de cada Modelo Detalhado de Missão de um PoP correspondente.
- RF-2: A ferramenta deve permitir o download da especificação dos requisitos extraídos nos idiomas português e inglês em um arquivo no formato CSV.
- RF-3: A ferramenta deve permitir o download da especificação dos requisitos extraídos no formato detalhado ou compacto.
- RF-4: A ferramenta deve utilizar como fonte de informação Modelos Detalhados de Missão construídos nas ferramentas BPMN.io ou Bizagi.

É importante notar que a ferramenta PoP-IRE não realiza a tradução das informações extraídas para a especificação do requisito, mas apenas altera as informações estáticas (campos e descrições pré-definidas) da especificação do requisito no idioma de interesse do usuário. Por exemplo, o nome dos campos “Classe” ou “Quantidade de mensagens enviadas” ou a descrição de um campo “Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado” com o formato textual estático “O envio da mensagem é realizado de modo independente” são traduzidos para o idioma escolhido.

Sendo assim, caso o rótulo de um elemento BPMN esteja em português e o idioma selecionado para extração for em inglês, essa informação obtida do rótulo irá permanecer em português. Desta forma, o usuário deve selecionar o idioma de acordo com aquele adotado no Modelo Detalhado de Missão selecionado para a extração, a fim de obter uma especificação de requisitos adequada.

5.4.2 Interface de Usuário e Usabilidade

Como passo inicial para a extração de requisitos de interoperabilidade, é necessário definir pelo menos um Modelo Detalhado de Missão do PoP de interesse na ferramenta *PoP Modeler*, que é a fonte de informação fundamental para a extração desses requisitos

¹ <https://www.bizagi.com/>

² <https://bpmn.io/>

pela ferramenta PoP-IRE. Para isso, é necessário registrar uma Aliança de Negócios na *PoP Modeler*, definindo inicialmente quais são os membros dessa aliança e quais são os PoP da aliança. Para cada PoP definido, é necessário especificar suas missões e, para cada missão, indicar quais são os processos de negócio ou PoP de cada sistema constituinte envolvido para o alcance dessa missão. As instruções para a realização de cada passo estão presentes na documentação da ferramenta disponível em <http://popmodelerdoc.ledes.net>.

Todas as informações sobre a aliança de organizações e sobre os seus PoP são necessárias para a criação do Modelo Detalhado de cada Missão de um PoP, pois esse modelo é formado pelo *merge* dos XML correspondentes aos processos de negócio ou PoP constituintes envolvidos na missão, resultando em um único XML.

A ferramenta *PoP Modeler* permite a geração automática do Modelo Detalhado de cada Missão do PoP, caso todos os processos constituintes estejam registrados na ferramenta, ou permite que seja carregado um Modelo Detalhado de Missão já pronto para ser vinculado a uma missão.

A Figura 49 ilustra o módulo Modelagem de PoP (*PoP Modeling*) da *PoP Modeler*, que realiza a criação ou carregamento desse modelo. Caso seja gerado automaticamente pela ferramenta, o usuário deverá ajustar a modelagem para inserir os fluxos de mensagem existentes entre os processos constituintes, devido à limitação da ferramenta apontada na Seção 2.5.3 do Capítulo 2.

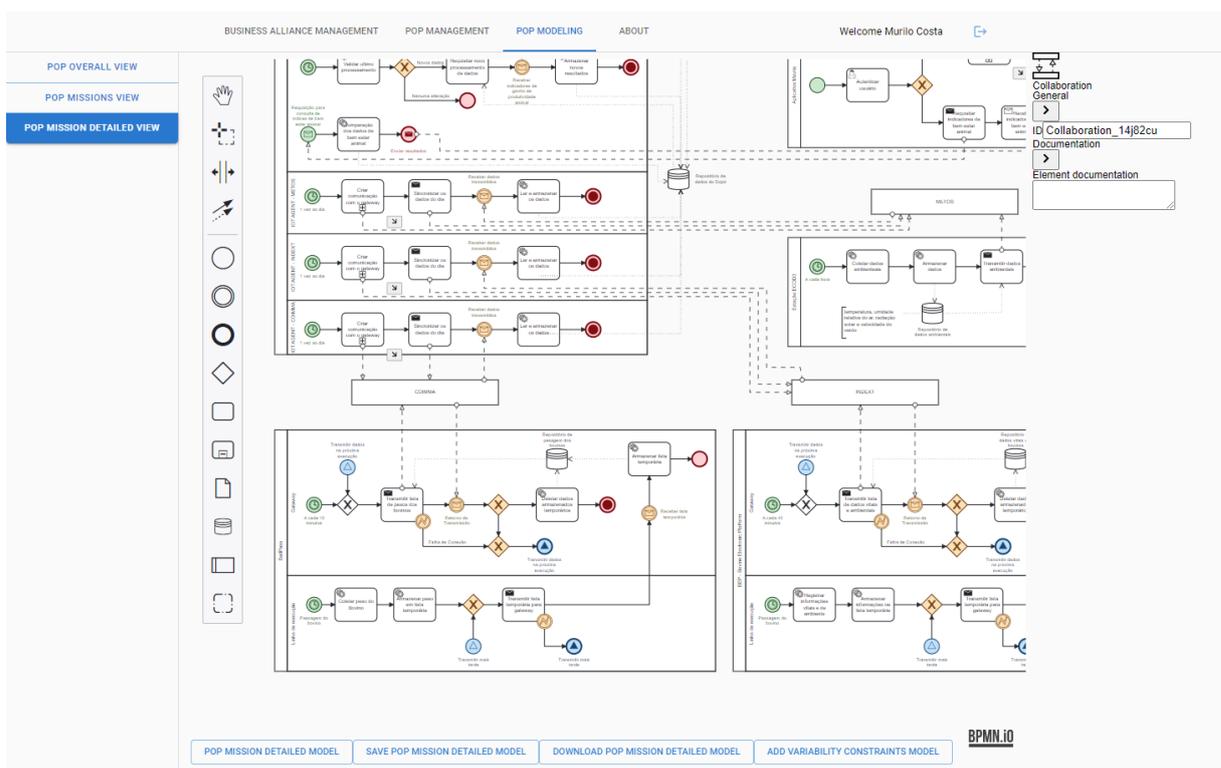


Figura 49 – Módulo da ferramenta *PoP Modeler* para a Modelagem do Modelo Detalhado de Missão

Com a fonte de informação para a extração dos requisitos definida, é necessário acessar o Módulo de Gerenciamento de PoP (*PoP Management*), na aba de listagem de PoP (*Show PoP*), para visualizar as missões definidas para um determinado PoP. Para cada missão exibida, há um botão de ações da missão que exibe a opção *Extract Interoperability Requirements* para a extração dos requisitos de interoperabilidade correspondentes àquela missão, conforme indicado na Figura 50.

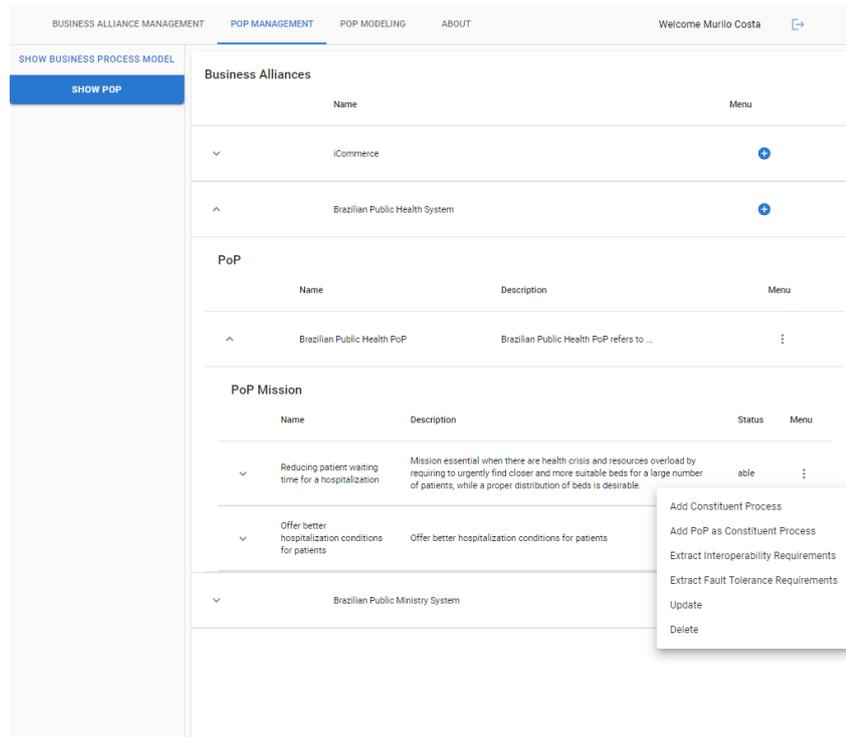


Figura 50 – Módulo da ferramenta *PoP Modeler* para Gerenciamento de PoP

Ao acessar a opção indicada, uma nova tela é exibida com as opções disponíveis para a extração de requisitos, sendo a escolha do idioma (português ou inglês) e o tipo de extração (compacta ou detalhada), conforme apresentado na Figura 51. Nessa tela também é exibido o botão para confirmar a extração dos requisitos. Caso a extração ocorra com sucesso, será exibido um botão para realizar o *download* do resultado no formato de arquivo CSV.

5.4.3 Validação e Discussão

A primeira etapa de validação da ferramenta PoP-IRE teve como objetivo comparar as especificações dos requisitos extraídos manualmente (Seção 5.3) com as especificações dos requisitos extraídos de forma automatizada pela ferramenta, a fim de verificar se as especificações geradas possuem o mesmo resultado ou resultado similar.

Para isso, após a conclusão da implementação da ferramenta desenvolvida neste trabalho como um módulo da *PoP Modeler*, disponível no link <http://popmodeler.ledes.net>, foi necessário inserir todas as informações para a criação da Aliança Embrapa,

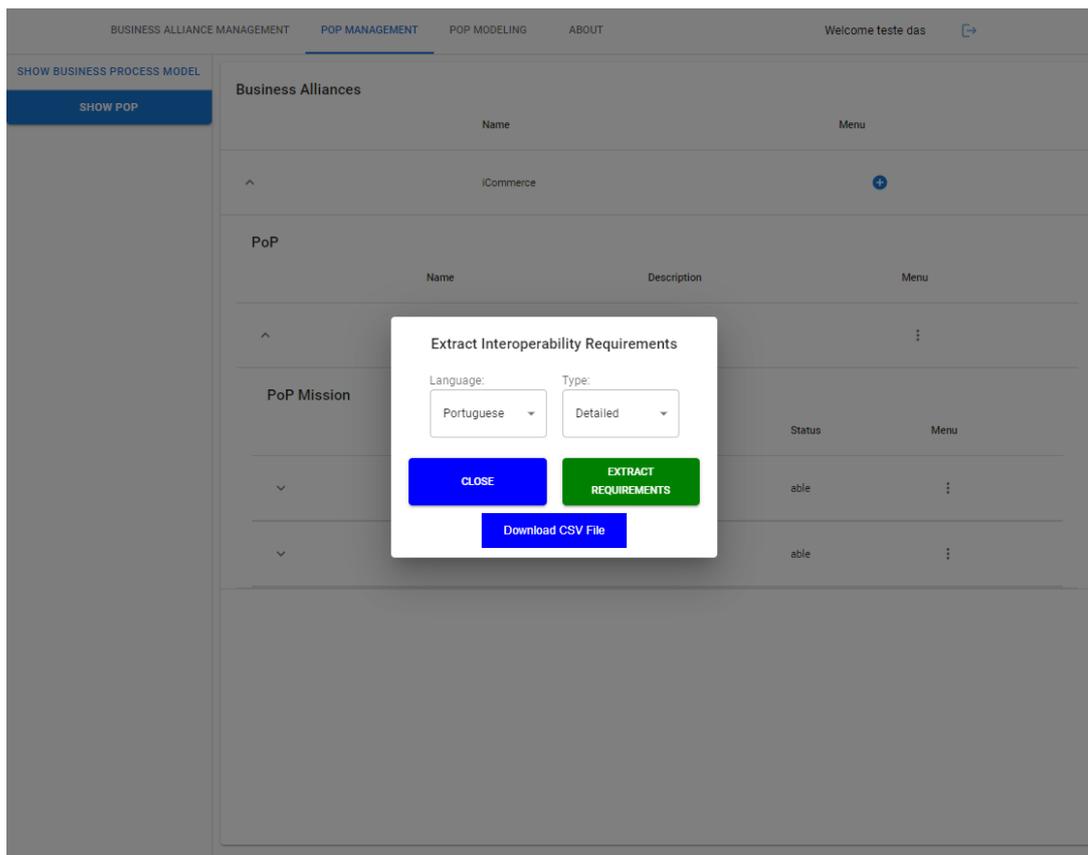


Figura 51 – Módulo da ferramenta *PoP Modeler* para Extração dos Requisitos de Interoperabilidade de SoS correspondente à missão do PoP selecionada

bem como o PoP Bem-estar Animal e o Modelo Detalhado da Missão “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal” desse PoP. Isso foi necessário uma vez que a criação desse modelo foi feita antes do desenvolvimento do módulo Modelagem de PoP (*PoP Modeling* da *PoP Modeler*, que foi construído em um outro trabalho (FRANCO; MATTIA, 2023).

Posteriormente, a geração dos requisitos de interoperabilidade da missão “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal” do PoP Bem-estar Animal foi selecionada na ferramenta. O resultado obtido contendo as especificações dos quatro requisitos de interoperabilidade extraídos de modo automatizado (cuja fonte de informação é a mesma daqueles quatro requisitos extraídos manualmente e apresentados na seção anterior) é apresentado nas Tabelas 24, 25, 26 e 27.

Nessas tabelas são apresentadas uma coluna contendo o conteúdo da especificação resultante da extração manual e outra coluna com o conteúdo da especificação obtida a partir da extração automática. Uma diferença notável entre ambas especificações é encontrada na definição do ID. Os requisitos extraídos de forma automatizada utilizam o ID herdado do fluxo de mensagem, o qual possui um caráter único. Esse mecanismo adotado para a identificação dos requisitos extraídos automaticamente oferece uma maneira adicional de manter a rastreabilidade do requisito, uma vez que é definido um requisito de

interoperabilidade para cada fluxo de mensagem. Essa informação é acessível apenas ao analisar o arquivo XML do Modelo Detalhado de Missão. Portanto, caso a extração seja feita manualmente, não se torna um passo previsto ou obrigatório, o que ocasionou na adoção de um ID único incremental indicado pelo engenheiro de requisitos do SoS. Outro ponto importante é a definição do campo “Sujeito”, que é obtido do banco de dados da *PoP Modeler* considerando o nome do PoP vinculado à missão como o nome do SoS uma vez que essa ferramenta não possui o nome do SoS registrado.

Tabela 24 – Comparativo entre as especificações do requisito de interoperabilidade - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Grupo de Campos	Campo	Extração Manual	Extração Automática
-	ID	01	Flow_12fnj8w
	Classe	Interoperabilidade	Interoperabilidade
	Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
	Ação	BallPass deve interoperar com COIMMA para Transmitir lista de pesos dos bovinos	BallPass deve interoperar com COIMMA para Transmitir lista de pesos dos bovinos
	Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-	-
	Condição da interoperabilidade	-	-
	Quantidade de mensagens enviadas	BallPass envia uma mensagem para COIMMA	BallPass envia uma mensagem para COIMMA
	Restrições de tempo para envio da mensagem	-	-
	Origem dos dados durante o envio da mensagem	Os dados são obtidos a partir de um repositório de dados: Repositório de pesagem dos bovinos	Os dados são obtidos a partir de um repositório de dados: Repositório de pesagem dos bovinos

Continuação da página anterior

Envio	Falha durante o envio da mensagem	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado
	Fluxo de envio de mensagem de modo privado	-	-
Recebimento	Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte	COIMMA recebe uma mensagem de BallPass	COIMMA recebe uma mensagem de BallPass
	Restrições de tempo para recebimento da mensagem	-	-
	Destino dos dados durante o recebimento da mensagem	-	-
	Falha durante o recebimento da mensagem	-	-
	Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado	O recebimento da mensagem é realizado de modo independente	- O recebimento da mensagem é realizado de modo independente
-	Rastreabilidade	Tarefa (Transmitir lista de pesos dos bovinos) / Piscina (COIMMA)	Task (Transmitir lista de pesos dos bovinos) / Participant (COIMMA)

Tabela 25 – Comparativo entre as especificações do requisito de interoperabilidade - ID 03 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Grupo de Campos	Campo	Extração Manual	Extração Automática
	ID	03	Flow_1xuctqh
	Classe	Interoperabilidade	Interoperabilidade
	Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Continuação da página anterior

-	Ação	INDEXT deve interoperar com BEP - Bovine Electronic Platform para envio de informações (processo de envio independente)	INDEXT deve interoperar com BEP - Bovine Electronic Platform para envio de informações (processo de envio independente)
	Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-	-
	Condição da interoperabilidade	-	-
Envio	Quantidade de mensagens enviadas	INDEXT envia uma mensagem para BEP - Bovine Electronic Platform	INDEXT envia uma mensagem para BEP - Bovine Electronic Platform
	Restrições de tempo para envio da mensagem	-	-
	Origem dos dados durante o envio da mensagem	-	-
	Falha durante o envio da mensagem	-	-
	Fluxo de envio de mensagem de modo privado	O envio da mensagem é realizado de modo independente	O envio da mensagem é realizado de modo independente
	Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte	BEP - Bovine Electronic Platform recebe uma mensagem de INDEXT	BEP - Bovine Electronic Platform recebe uma mensagem de INDEXT
	Restrições de tempo para recebimento da mensagem	-	-
	Destino dos dados durante o recebimento da mensagem	-	-
	Falha durante o recebimento da mensagem	-	-

Recebimento		Continuação da página anterior	
	Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado	-	-
-	Rastreabilidade	Piscina (INDEXT) / Evento (Retorno da transmissão)	Participant (INDEXT) / Event (Retorno da transmissão)

Tabela 26 – Comparativo entre as especificações do requisito de interoperabilidade - ID 15 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Grupo de Campos	Campo	Extração Manual	Extração Automática
-	ID	15	Flow_0xmwzdd
	Classe	Interoperabilidade	Interoperabilidade
	Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
	Ação	Aplicativo Mobile deve interoperar com Dojot para Requisitar indicadores de bem estar animal	Aplicativo Mobile deve interoperar com Dojot para Requisitar indicadores de bem estar animal
	Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-	-
	Condição da interoperabilidade	-	-
	Quantidade de mensagens enviadas	Aplicativo Mobile envia uma mensagem para Dojot	Aplicativo Mobile envia uma mensagem para Dojot
Restrições de tempo para envio da mensagem	-	-	
Origem dos dados durante o envio da mensagem	-	-	

Continuação da página anterior

Envio	Falha durante o envio da mensagem	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado
	Fluxo de envio de mensagem de modo privado	-	-
Recebimento	Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte	Dojot recebe uma mensagem de Aplicativo Mobile	Dojot recebe uma mensagem de Aplicativo Mobile
	Restrições de tempo para recebimento da mensagem	-	-
	Destino dos dados durante o recebimento da mensagem	-	-
	Falha durante o recebimento da mensagem	-	-
	Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado	-	-
-	Rastreabilidade	Tarefa (Requisitar indicadores de bem estar animal) / Evento (Requisição para consulta de índices de bem estar animal)	Activity (Requisitar indicadores de bem estar animal) / Event (Requisição para consulta de índices de bem estar animal)

Tabela 27 – Comparativo entre as especificações do requisito de interoperabilidade - ID 18 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Grupo de Campos	Campo	Extração Manual	Extração Automática
	ID	18	Flow_1afgdpdp
	Classe	Interoperabilidade	Interoperabilidade

Continuação da página anterior

-	Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta	-
	Ação	Dojot deve interoperar com Aplicativo Mobile para Enviar resultados	Dojot deve interoperar com Aplicativo Mobile para Enviar resultados
	Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-	-
	Condição da interoperabilidade	-	-
Envio	Quantidade de mensagens enviadas	Dojot envia uma mensagem para Aplicativo Mobile	Dojot envia uma mensagem para Aplicativo Mobile
	Restrições de tempo para envio da mensagem	-	-
	Origem dos dados durante o envio da mensagem	-	-
	Falha durante o envio da mensagem	-	-
	Fluxo de envio de mensagem de modo privado	-	-
	Quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte	Aplicativo Mobile recebe uma mensagem de Dojot	Aplicativo Mobile recebe uma mensagem de Dojot
	Restrições de tempo para recebimento da mensagem	-	-
	Destino dos dados durante o recebimento da mensagem	-	-

Continuação da página anterior

Recebimento	Falha durante o recebimento da mensagem	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, o recebimento da mensagem é interrompido e o tratamento de erro é executado	Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, o recebimento da mensagem é interrompido e o tratamento de erro é executado
	Fluxo de recebimento de mensagem de modo privado	-	-
-	Rastreabilidade	Evento (Enviar resultados) / Tarefa (Receber indicadores de bem estar animal)	Event (Enviar resultados) / Activity (Receber indicadores de bem estar animal)

Em relação às informações extraídas, de modo geral, temos o mesmo resultado para ambos os casos (especificação obtida da extração manual ou automática), com preenchimento equivalente de todos os campos da especificação do requisito, tanto no formato detalhado quanto no compacto.

No entanto, é importante observar uma diferença nos campos ID e Rastreabilidade, que utilizam o nome do elemento BPMN presente no arquivo. Este nome está no idioma inglês, e, portanto, quando a extração dos requisitos é feita em português, essas informações não são traduzidas para evitar a perda de rastreabilidade, mantendo a nomenclatura do elemento original obtido do Modelo Detalhado de Missão.

A segunda etapa de validação da PoP-IRE teve como objetivo analisar os requisitos de interoperabilidade elicitados de forma automatizada da missão “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal” do PoP “Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta” em relação à sua completude, alinhamento ao negócio, utilidade dentro do contexto do SoS e clareza para entendimento das informações.

Além disso, visou avaliar o módulo PoP-IRE quanto à facilidade de uso, utilidade para a elicitação dos requisitos e recomendação para outros especialistas de SoS. Para isso, criou-se um questionário com o apoio da ferramenta *Google Forms*, conforme descrito no Apêndice F. O questionário foi elaborado com base no Modelo de Aceitação de Tecnologia (*Technology Acceptance Model - TAM*) (MARANGUNIĆ; GRANIĆ, 2015) e enviado ao especialista de SoS responsável pelo PoP analisado.

Como resultado, o especialista concordou totalmente que os requisitos de interoperabilidade extraídos pela ferramenta são completos, claros, alinhados ao negócio e há potencial de utilização dos requisitos para o aprimoramento do SoS. No entanto, em re-

lação à utilidade dos requisitos, o especialista concordou parcialmente, justificando que alguns campos não preenchidos da especificação dos requisitos, como “Condição da Interoperabilidade”, poderiam auxiliar no entendimento da interoperabilidade. Salienta-se que esses campos não foram preenchidos pois são obtidos a partir da existência de acordos entre as organizações dos sistemas constituintes, como detalhado na variante dos cenários abstratos (Capítulo 4, Seção 4.3.7) através do uso do elemento BPMN objeto de dados (*data object*), que por sua vez não foi utilizado na modelagem do Modelo Detalhado de Missão analisado.

Ao analisar a ferramenta, o especialista concordou completamente em relação à sua utilidade para auxiliar na extração de requisitos e em sua recomendação para outros engenheiros de SoS. No entanto, concordou parcialmente em relação à facilidade de uso, justificando que só foi possível realizar a extração com o apoio do manual disponibilizado, uma vez que a funcionalidade não está exposta em um módulo da ferramenta para um uso mais intuitivo.

Com base nas avaliações conduzidas, é possível constatar que as diretrizes de extração da abordagem proposta e a ferramenta de apoio são eficientes. Elas podem fornecer um alinhamento desses requisitos de interoperabilidade de SoS ao negócio. Isso ocorre porque a ferramenta é capaz de gerar o modelo detalhado de missão a partir das informações contidas nos processos de negócio. Esse modelo serve como fonte de informação para a elicitação automatizada de requisitos de interoperabilidade. Por sua vez, esses requisitos refletem as iterações necessárias para viabilizar o alcance de uma determinada missão do PoP. Portanto, a ferramenta fornece informações úteis para o avanço de discussões técnicas e para a concepção da interoperabilidade dentro do SoS.

5.4.4 Ameaças à validade

Em relação as ameaças à validade da prova de conceito, destacam-se as seguintes: (i) quantidade reduzida de participantes devido o contexto do SoS utilizado. Para mitigar essa ameaça, três especialistas em SoS do grupo de pesquisa validaram previamente a ferramenta e o formulário da avaliação em um piloto; (ii) comparativo do resultado da extração dos requisitos de forma manual no estudo de caso com o resultado obtido pela ferramenta pode causar um viés na análise. Para mitigar essa ameaça, os requisitos gerados para comparação foram validados também pelos mesmos especialistas em relação aos pontos de similaridade; e (iii) extração dos requisitos comprometida: para tratar essa ameaça, observou-se a conformidade do Modelo Detalhado de Missão utilizado com os cenários abstratos de interoperabilidade (Capítulo 4).

5.5 Considerações Finais

Neste capítulo, foi definido um conjunto de diretrizes para a extração de requisitos não funcionais de interoperabilidade de SoS a partir da análise de cada Modelo Detalhado de Missão de um determinado PoP. Para isso, foram analisados os elementos BPMN que foram incorporados na extensão do metamodelo do PoP, bem como proposto o formato do requisito e o algoritmo para realizar a extração de todos os requisitos presentes no modelo.

Com a definição do algoritmo, um estudo de caso foi realizado com o objetivo de extrair requisitos de um PoP real já conhecido no trabalho. Com este estudo, foi possível identificar as semelhanças apontadas entre a análise e extração de informações dos elementos de envio e recebimento, assim como uma ordem para o preenchimento das informações do requisito.

Com o conhecimento obtido, foi realizado o desenvolvimento de um novo módulo na ferramenta *PoP Modeler*, que possibilita a extração automatizada dos requisitos de interoperabilidade de SoS. Em seguida, foi feita uma análise e discussão do resultado produzido pela ferramenta com o resultado obtido no estudo de caso, utilizando o mesmo Modelo Detalhado de Missão, o que indicou um resultado favorável para ambas as extrações, contribuindo para o alcance da interoperabilidade nos níveis sintático e semântico no contexto do SoS envolvido. No próximo capítulo é apresentada a conclusão deste trabalho, com a explanação de suas contribuições, limitações e trabalhos futuros.

6 Conclusão

6.1 Considerações Iniciais

Este capítulo apresenta as conclusões deste trabalho. As principais contribuições do estudo estão descritas na Seção 6.2. Os desafios e limitações encontrados durante a sua execução são discutidos na Seção 6.3. Por fim, a Seção 6.4 apresenta as perspectivas de trabalhos futuros, delineadas a partir das discussões sobre os desafios e limitações identificados.

6.2 Contribuições

Este trabalho de mestrado contribui de maneira significativa para o avanço tanto do entendimento da interoperabilidade em SoS a partir do nível de negócio de alianças de organizações, bem como da Engenharia de Requisitos de SoS, particularmente nos processos de elicitação e especificação. Foram desenvolvidos artefatos que facilitam a aplicação da abordagem proposta para extração sistemática e automática de requisitos de interoperabilidade de SoS. Constatou-se que os requisitos de interoperabilidade de SoS podem ser identificados desde as fases iniciais do desenvolvimento do SoS, uma vez que são baseados em modelos do PoP, elaborados a partir dos processos de negócio de cada sistema constituinte necessário para o alcance das missões do SoS.

O mapeamento sistemático conduzido no âmbito deste trabalho (COSTA; PAIVA; CAGNIN, 2022) desempenhou um papel crucial na identificação das metodologias existentes para a extração de requisitos de interoperabilidade em SoS. Este estudo secundário não apenas revelou as abordagens atualmente disponíveis, mas também destacou uma lacuna significativa em relação ao uso de informações de modelos de processos de negócio para esse fim específico. Esse resultado foi fundamental para motivar e justificar a abordagem definida neste trabalho, uma vez que as características inerentes aos SoS demandam uma metodologia de extração de requisitos diferenciada das metodologias tradicionais (NCUBE; LIM, 2018).

As parcerias estabelecidas com a Embrapa Gado de Corte e a Agência de Tecnologia e Informação (Agetic) da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul foram inestimáveis e primordiais para compreender como essas instituições identificam os sistemas de sistemas, suas respectivas missões e os sistemas constituintes que colaboram para sua automação. Essa colaboração agregou conhecimento de domínio, permitiu o avanço do conhecimento em BPMN para a representação de interoperabilidade e a criação de

novas modelagens de cenários concretos de interoperabilidade entre processos de negócio, resultando em um intercâmbio valioso de informações. Como contrapartida da parceria, o trabalho ofereceu resultados significativos que beneficiaram ambas as partes.

Outra contribuição importante é a definição de seis cenários abstratos de interoperabilidade e uma variante desses cenários, os quais possibilitaram uma maior compreensão de como a interoperabilidade deve ser representada de forma adequada em BPMN em diversas situações dentro do contexto de processos de negócios complexos e dinâmicos como o PoP. A adaptação das coreografias de processos tradicionais foi fundamental para representar adequadamente as situações presentes no PoP, especialmente a questão do dinamismo, onde um processo constituinte pode ser inserido ou retirado a qualquer momento do PoP para o alcance de suas missões em tempo de execução.

A etapa de avaliação dos cenários abstratos promoveu uma evolução dos conceitos relacionados aos elementos BPMN que são utilizados para representar a interoperabilidade no contexto de PoP. Os especialistas forneceram sugestões que contribuíram para a representação dos momentos da interoperabilidade. Um exemplo disso foi o uso do desvio baseado em eventos para situações em que o recebimento de mensagem deve ter um critério de saída, como um limite de tempo ou um recebimento de mensagem, sendo o evento que ocorrer primeiro. Essas sugestões foram essenciais para aprimorar a representação dos cenários e garantir uma representação mais completa da interoperabilidade em PoP na notação BPMN.

Com isso, foi possível realizar a extensão do metamodelo do PoP, que teve origem no trabalho de [Cagnin e Nakagawa \(2021\)](#), produzindo assim um dos artefatos propostos neste trabalho. Esta extensão incorporou classes da [OMG \(2014a\)](#) correspondentes a elementos BPMN usados para representar a interoperabilidade no Modelo Detalhado de Missão do PoP, bem como relacionamentos e dependências de cada classe de elemento BPMN com as classes já existentes no metamodelo do PoP. Isso tornou as modelagens em BPMN de PoP fontes potenciais de informações úteis para a extração de requisitos de interoperabilidade de SoS.

Com o resultado desta extensão do metamodelo, foi realizado o processo de análise do comportamento de cada elemento BPMN durante o envio e recebimento de mensagens, contribuindo para o avanço da construção das diretrizes da abordagem proposta para a extração de requisitos de interoperabilidade. Esta abordagem aprimora a estrutura proposta por [Cagnin e Nakagawa \(2024\)](#) para descrever requisitos de interoperabilidade de SoS, acrescentando informações úteis para documentar todas as características notáveis a partir dos elementos analisados, gerando a estrutura para especificar esses tipos de requisitos de forma detalhada ou compacta.

Dados os campos necessários para especificar os requisitos de interoperabilidade, um algoritmo foi definido nas diretrizes como parte da abordagem com o objetivo de ori-

entar o processo de análise e descoberta de informações a partir de um Modelo Detalhado de Missão para realizar a extração dos requisitos de interesse deste trabalho. A construção desse algoritmo contribuiu para a validação do formato proposto para especificar o requisito, identificando similaridades ao realizar a análise e descoberta de informações durante o envio ou recebimento de uma mensagem, onde os elementos analisados poderiam fornecer as mesmas possibilidades de informações, como quantidade de mensagens, restrições de tempo ou erro, ou fluxos privados.

Toda a experiência obtida a partir da colaboração no desenvolvimento da ferramenta PoP *Modeler* contribuiu ativamente no desenvolvimento do novo módulo para extração automatizada de requisitos de interoperabilidade de SoS dentro dessa ferramenta. Com o conhecimento prévio da PoP *Modeler* e dos dados armazenados, foi possível implementar o algoritmo proposto para viabilizar a extração automática de requisitos de interoperabilidade conforme preconizada pelas diretrizes de extração definidas.

Com base nas contribuições e resultados obtidos, é possível responder a questão de pesquisa deste trabalho, que se refere a “Como facilitar a extração de requisitos de interoperabilidade no contexto de Sistemas-de-Sistemas alinhados ao negócio de alianças de organizações?”. A abordagem proposta neste trabalho oferece uma metodologia estruturada e eficiente para a extração de requisitos de interoperabilidade em SoS, garantindo o alinhamento com o negócio das alianças de organizações. Essa metodologia facilita o processo de extração e especificação dos requisitos, fornecendo uma estrutura clara e diretrizes para identificar e documentar os requisitos relevantes a partir de cada Modelo Detalhado de Missão de um determinado PoP, contribuindo diretamente no ciclo de vida de desenvolvimento e manutenção de SoS, uma vez que auxilia a manter a documentação dos requisitos atualizada, de modo automatizado.

Alguns dos artefatos desenvolvidos neste trabalho de mestrado foram divulgados por meio de publicações em eventos da área como autor ou co-autor. Além disso, outros artefatos foram submetidos ou serão submetidos a veículos de destaque na área, visando sua ampla divulgação e contribuição para o avanço do conhecimento, sendo eles:

- [Costa, Paiva e Cagnin \(2022\)](#). How are the interoperability requirements addressed in the systems-of-systems context? In: XVIII Brazilian Symposium on Information Systems (SBSI 2022). ISBN 9781450396981. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3535511.3535524>;
- [Molina et al. \(2023\)](#). Cenários Abstratos de Tratamento de Exceções na Interoperabilidade de Processos-de-Processos de Negócios. In: V Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software (MSSiS 2023) co-alocado ao XIV Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática (CBSOFT 2023). Disponível em: <https://doi.org/10.5753/mssis.2023.235463>;

- [Costa et al. \(2024\)](#). Abstract Scenarios of Interoperability in Processes-of-Business Processes (A ser submetido ao MSSiS 2024); e
- [Franco et al. \(2024\)](#). PoP *Modeler*: A tool to facilitate the modeling and comprehension of Processes-of-Business Processes (A ser submetido ao MSSiS 2024).

De modo complementar, a colaboração com o grupo de Engenharia de Software da UFMS gerou o registro da ferramenta *PoP Modeler* em 3 versões.

- Versão 1.0 (Trata do gerenciamento de alianças de organizações e de PoP): Processo BR512022002532-9, publicada em 29/08/2022;
- Versão 2.0 (Trata da modelagem de PoP em BPMN): Processo BR512023002328-0, publicada em 30/06/2023; e
- Versão 3.0 (Trata do módulo de extração de requisitos de interoperabilidade de SoS a partir de PoP, desenvolvido neste trabalho): Processo BR512024000971-0, publicada em 18/03/2024;

6.3 Desafios e Limitações

Durante a realização deste trabalho, foram enfrentados diversos desafios, os quais estão apresentados a seguir.

- Desenvolvimento com a Metodologia DSR: Devido à falta de experiência do autor com essa abordagem, foi necessário fazer ajustes na definição dos ciclos de design e relevância ao longo da execução do trabalho de mestrado. Inicialmente, a proposta não contemplava o uso de cenários abstratos para auxiliar no desenvolvimento da abordagem proposta, o que exigiu correções durante o processo;
- Descoberta de PoP Concreto: O maior desafio durante esta etapa foi encontrar instituições dispostas a estabelecer parcerias para compartilhar seus processos de negócio complexos e dinâmicos. Houve o desafio do pouco conhecimento dos conceitos de SoS e PoP por parte dos entrevistados, o que exigiu a reformulação do modelo de entrevista para descoberta, modelagem e validação do resultado gerado. Além disso, diversas informações não foram incorporadas a cada modelo detalhado de missão dos cenários concretos devido a questões de sigilo pelas partes envolvidas; e
- Uso de Ferramentas de Modelagem em BPMN: Durante o desenvolvimento dos cenários abstratos e concretos, e também durante a construção da ferramenta PoP-IRE desenvolvida neste trabalho foi necessário lidar com os arquivos XML gerados por

diferentes ferramentas de modelagem. O desafio foi validar as diferenças e semelhanças entre esses arquivos, além de encontrar soluções gratuitas que produzissem resultados compatíveis com os padrões da OMG.

Além dos desafios mencionados, este trabalho apresenta algumas limitações, listadas a seguir.

- A abordagem definida para extração de requisitos de interoperabilidade é indicada apenas para SoS do tipo dirigido;
- As informações extraídas para o requisito de interoperabilidade levam em consideração apenas o momento de envio e recebimento de mensagens, desconsiderando fatores externos de contexto, como preparação da mensagem para envio ou processamento da mensagem após o recebimento. Ou seja, informações obtidas pela análise de elementos sucessores ou predecessores, como desvios, não são consideradas nesta abordagem;
- A ferramenta PoP-IRE, que é um módulo da PoP *Modeler*, realiza a extração automática de requisitos a partir de Modelo Detalhado de Missão modelado apenas nas ferramentas bpmn.io e Bizagi, pois foi constatado que estão em conformidade com a especificação BPMN (OMG, 2014a); e
- As etapas de avaliação deste trabalho, incluindo a avaliação dos cenários abstratos, das diretrizes de extração e da ferramenta de apoio, foram realizadas com uma quantidade reduzida de participantes. Essa limitação foi ocasionada pela dificuldade em encontrar parcerias que possuíssem SoS e entendimento sólido do funcionamento de PoP reais. Como resultado, houve limitações em relação ao domínio e complexidade do PoP utilizado nas avaliações, especialmente no estudo de caso e na avaliação da ferramenta PoP-IRE.

6.4 Trabalhos Futuros

A pesquisa conduzida neste trabalho deve ser continuada e ampliada para superar as limitações identificadas e abranger uma gama mais ampla de contextos, a fim de enriquecer os requisitos extraídos com informações adicionais. A seguir, são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros, baseadas nos resultados deste estudo.

- Expandir a abordagem proposta para extração de requisitos de interoperabilidade de outros tipos de SoS como colaborativos, reconhecido e virtual;

- Aprimorar o algoritmo de extração de requisitos para incorporar a análise de novos elementos BPMN durante o envio ou recebimento de mensagens, levando em conta elementos predecessores ou sucessores aos elementos já observados;
- Realizar outras avaliações da abordagem proposta com PoP reais e com apoio da ferramenta *PoP Modeler*, com o objetivo de aprimorar a qualidade dos requisitos gerados e a usabilidade da ferramenta. É imprescindível que esse trabalho futuro envolva a colaboração com instituições públicas ou privadas;
- Identificar a forma com que a modelagem é realizada por outras ferramentas de modelagem BPMN para estender a cobertura da ferramenta PoP-IRE;
- Adicionar uma funcionalidade à *PoP Modeler* para verificar a conformidade da modelagem da interoperabilidade entre os processos constituintes do Modelo Detalhado de Missão com os cenários abstratos definidos;
- Migrar as funcionalidades da ferramenta Pop-IRE para um menu único da ferramenta *PoP Modeler* com o objetivo de facilitar o seu acesso e fornecer uma usabilidade mais intuitiva; e
- Analisar a viabilidade do uso dos requisitos especificados de modo automatizado para geração de código utilizando modelos de linguagens avançados (LLM) para gerar a implementação necessária para a interoperabilidade dos sistemas constituintes (FRANÇA; FRANTZ; GRACIANO-NETO, 2024) visando alcançar missões de SoS.

Referências

- AALST, W. M. P. van der. Business process management: a comprehensive survey. *ISRN Software Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, v. 2013, p. 1–37, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.
- AHMED, N.; MATULEVIČIUS, R. Presentation and validation of method for security requirements elicitation from business processes. In: *24th International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. Cham, Germany: Springer, 2014. p. 20–35. Citado na página 25.
- AHMED, N.; MATULEVIČIUS, R. Presentation and validation of method for security requirements elicitation from business processes. In: *24th International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. Thessaloniki, Greece: Springer, 2014. p. 20–35. Citado na página 39.
- ALBERS, S.; WOHLGEZOGEN, F.; ZAJAC, E. J. *Strategic Alliance Structures: An Organization Design Perspective*. [S.l.: s.n.], 2016. 582–614 p. ISBN 0149206313. Citado na página 33.
- ASUNCION, C. H.; SINDEREN, M. J. V. Pragmatic interoperability: A systematic review of published definitions. In: *1st International Conference on Enterprise Architecture, Integration and Interoperability*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. p. 164–175. Citado 4 vezes nas páginas 21, 23, 36 e 57.
- ASUNCION, C. H.; SINDEREN, M. van. Towards pragmatic interoperability in the new enterprise—a survey of approaches. In: SPRINGER. *1st International Working Conference on Enterprise Interoperability*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. p. 132–145. Citado na página 37.
- BAGDATLI, B. et al. A method for examining the impact of interoperability on mission performance in a system-of-systems. In: *31th IEEE Aerospace Conference*. Big Sky, MT, USA: IEEE, 2010. p. 1–15. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 56.
- BASIL, V. R. *Software modeling and measurement: the Goal/Question/Metric paradigm*. [S.l.], 1992. 24 p. Citado na página 79.
- BEALE, D.; BONOMETTI, J. Systems engineering (se) - the systems design process. In: BEALE, D. (Ed.). *The Lunar Engineering Handbook*. [S.l.]: Auburn University, 2006. cap. Chapter 2. Available: <http://www.eng.auburn.edu/dbeale/ESMDCourse/Chapter2.htm>. Citado na página 34.
- BENALI, H.; SAOUD, N. B. B.; AHMED, M. B. Context-based ontology to describe system-of-systems interoperability. In: *11th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*. Manouba, Tunisia: IEEE, 2014. p. 64–71. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 56.
- BOARDMAN, J.; SAUSER, B. J. System of systems - the meaning of of. In: *1st International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*. Los Angeles, USA: IEEE, 2006. p. 1–6. Citado na página 56.

- CADAVID, H.; ANDRIKOPOULOS, V.; AVGERIOU, P. Architecting systems of systems: A tertiary study. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 118, p. 106–202, 2020. Citado na página 58.
- CAGNIN, M. I.; MATTIA, W. G.; COSTA, M. G. N. *PoP Modeler versão 1.0*. 2022. Processo n. BR512022002532-9. Citado 2 vezes nas páginas 50 e 51.
- CAGNIN, M. I. et al. *PoP Modeler versão 2.0*. 2023. Processo n. BR512023002328-0. Citado 2 vezes nas páginas 50 e 51.
- CAGNIN, M. I.; NAKAGAWA, E. Y. Towards dynamic processes-of-business processes: A new understanding. *Business Process Management Journal*, Emerald Publishing Limited, v. 27, n. 5, p. 1545–1568, 2021. Citado 10 vezes nas páginas 9, 22, 24, 26, 28, 44, 45, 46, 47 e 134.
- CAGNIN, M. I.; NAKAGAWA, E. Y. M-PoP: leveraging the systematic modeling of processes-of-business processes. *Business Process Management Journal*, Emerald Publishing Limited, v. 28, n. 5/6, p. 1412–1445, 2022. Citado 4 vezes nas páginas 9, 47, 48 e 69.
- CAGNIN, M. I.; NAKAGAWA, E. Y. M-PoP: Leveraging the systematic modeling of processes-of-business processes. *Business Process Management Journal*, v. 28, n. 5/6, p. 1412–1445, 2022. Citado na página 97.
- CAGNIN, M. I.; NAKAGAWA, E. Y. Processes-of-business processes: A novel information source of systems-of-systems requirements. *Requirements Engineering*, p. 1–42, 2024. (Under review). Citado 3 vezes nas páginas 97, 100 e 134.
- CARDOSO, E. C. S.; ALMEIDA, J. P. A.; GUIZZARDI, G. Requirements engineering based on business process models: A case study. In: IEEE. *13th Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops*. Auckland, New Zealand: IEEE, 2009. p. 1–9. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 39.
- CHINOSI, M.; TROMBETTA, A. Bpmn: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, Elsevier, v. 34, n. 1, p. 124–134, 2012. Citado na página 40.
- COMPLEX, S. *Parsifal*. 2021. <https://parsif.al>. Citado na página 149.
- COSTA, M. G. N. et al. Abstract interoperability scenarios for processes-of-business processes modeling. In: *VI Workshop de Modelagem e Simulação de Sistemas intensivos em Software (MSSiS) coalocado ao XIV Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática (CBSOft)*. [S.l.: s.n.], 2024. p. 1–10. Submetido e em revisão. Citado na página 136.
- COSTA, M. G. N.; PAIVA, D. M. B.; CAGNIN, M. I. How are the interoperability requirements addressed in the systems-of-systems context? In: *XVIII Brazilian Symposium on Information Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. (SBSI). ISBN 9781450396981. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3535511.3535524>>. Citado 5 vezes nas páginas 25, 39, 55, 133 e 135.
- CRUZ, E. F.; MACHADO, R. J.; SANTOS, M. Y. Bridging the gap between a set of interrelated business process models and software models. In: *17th International Conference on Enterprise Information Systems*. Barcelona, Spain: Scitepress, 2015. p. 338–345. Citado na página 39.

- DECKER, G. Design and analysis of process choreographies. *Unpublished doctoral dissertation, Business Process Technology Group, Hasso*, Postdam, 2009. Citado na página 40.
- DERSIN, P. *Systems of Systems*. [S.l.]: IEEE, 2014. IEEE-Reliability Society. Technical Committee on “Systems of Systems”, <https://rs.ieee.org/technical-activities/technical-committees/systems-of-systems.html> (Acesso em 28/02/2021). Citado 2 vezes nas páginas 24 e 34.
- DUMAS, M. et al. *Fundamentals of business process management*. [S.l.]: Springer, 2013. ISBN 3642331424. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.
- FERNANDES, J.; NETO, V. V. G.; SANTOS, R. P. d. An approach based on conceptual modeling to understand factors that influence interoperability in systems-of-information systems. In: *Proceedings of the XX Brazilian Symposium on Software Quality*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–10. Citado na página 37.
- FERREIRA, F. H.; NAKAGAWA, E. Y.; SANTOS, R. P. dos. Reliability in software-intensive systems: Challenges, solutions, and future perspectives. In: *47th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*. Palermo, Italy: IEEE, 2021. p. 54–61. Citado na página 35.
- FRANCO, I. et al. Pop modeler: A tool to facilitate the modeling and comprehension of processes-of-business processes. In: *VI Workshop de Modelagem e Simulação de Sistemas intensivos em Software (MSSiS) coalocado ao XIV Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática (CBSOft)*. [S.l.: s.n.], 2024. p. 1–10. Citado na página 136.
- FRANCO, I. C. T.; MATTIA, W. G. de. *Apoio Computacional para Modelagem de Processos-de-Processos de Negócio*. 2023. Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Trabalho de Conclusão de Curso sob a orientação da Profa. Maria Istela Cagnin. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 123.
- FRANÇA, A. G.; FRANTZ, R. Z.; GRACIANO-NETO, V. V. Unveiling a process for the establishment of interoperability links between software-intensive information systems. In: *Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Information Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2024. (SBSI '24). ISBN 9798400709968. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3658271.3658285>>. Citado na página 138.
- GIACHETTI, R.; WANGERT, S.; ELDRED, R. Interoperability analysis method for mission-oriented system of systems engineering. In: *13th IEEE International Systems Conference (SysCon)*. Orlando, Florida, USA: IEEE, 2019. p. 1–6. Citado 3 vezes nas páginas 25, 56 e 57.
- GRACIANO-NETO, V. V. et al. On the interplay of business process modeling and missions in systems-of-information systems. In: IEEE. *2017 IEEE/ACM Joint 5th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 11th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems (JSOS)*. [S.l.], 2017. p. 72–73. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 35.
- HENSHAW, M.; AL et. *The Systems of Systems Engineering Strategic Research Agenda*. United Kingdom, 2013. Citado na página 35.

- HEVNER, A. R.; CHATTERJEE, S. Design research in information systems. In: . [S.l.]: Springer Science Business Media, 2010. v. 22, cap. Chapter 2 - Design Science Research in Information Systems, p. 9–22. Citado 3 vezes nas páginas 9, 28 e 29.
- HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. *MIS quarterly*, JSTOR, p. 75–105, 2004. Citado na página 26.
- HOLT, J. et al. A model-based approach for requirements engineering for systems of systems. *IEEE Systems Journal*, IEEE, v. 9, n. 1, p. 252–262, 2015. Citado na página 39.
- HULL, R.; MENDLING, J.; TAI, S. *Fundamentals of Business Process Management*. [S.l.: s.n.], 2018. 517 p. ISBN 9783662565087. Citado na página 39.
- IEEE. Ieee recommended practice for software requirements specifications. *IEEE Std 830-1998*, IEEE, p. 1–40, 1998. Citado na página 27.
- INDULSKA, M. et al. Business process modeling: Current issues and future challenges. In: *19th International conference on advanced information systems engineering*. Amsterdam, The Netherlands: Springer, 2009. p. 501–514. Citado na página 25.
- ISO. *ISO/IEC 25000 SQuaRE - System and Software Quality Requirements and Evaluation*. 2014. Citado na página 36.
- JAMSHIDI, M. *System of Systems Engineering: Innovations for the 21st Century*. [S.l.]: Wiley, 2008. Citado na página 34.
- KANG, K. C. et al. *Feature-oriented domain analysis (FODA) feasibility study*. [S.l.], 1990. Citado na página 48.
- KASUNIC, M. *Designing an effective survey*. [S.l.], 2005. Citado na página 79.
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004. Citado na página 149.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. *Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. UK, 2007. Citado na página 152.
- KUMAR, V.; SHARMA, P. *An insight into mergers and acquisitions: A growth perspective*. [S.l.]: Springer Nature Singapore, 2019. XVII - 220 p. ISBN 9789811358296. Citado 3 vezes nas páginas 21, 24 e 34.
- LANE, J. A. System of systems capability to requirements engineering. In: *9th International Conference on System of Systems Engineering (SOSE)*. Glenelg, Australia: IEEE, 2014. p. 91–96. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 56.
- LANE, J. A.; EPSTEIN, D. What is a system of systems and why should i care? *University of Southern California*, Citeseer, 2013. Citado 5 vezes nas páginas 9, 21, 34, 36 e 56.
- LEWIS, G. A. et al. Requirements engineering for systems of systems. In: *3rd Annual IEEE Systems Conference*. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2009. p. 247–252. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 38.

- MACIEL, R. S. et al. Full Interoperability: Challenges and Opportunities for Future Information Systems. In: *I GranDSI-BR: Grandes Desafios da Pesquisa em Sistemas de Informação no Brasil para o período de 2016 a 2026*. [S.l.]: SBC, 2017. p. 107–118. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.
- MAIER, M. Architecting principles for Systems-of-Systems. *Systems Engineering: The Journal of the International Council on Systems Engineering*, v. 1, n. 4, p. 267–284, 1998. Citado 6 vezes nas páginas 21, 34, 35, 38, 49 e 56.
- MARANGUNIĆ, N.; GRANIĆ, A. Technology acceptance model: a literature review from 1986 to 2013. *Universal Access in the Information Society*, Springer, v. 14, n. 1, p. 81–95, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 130.
- MARSHALL, R. S.; NGUYEN, T. V.; BRYANT, S. E. A dynamic model of trust development and knowledge sharing in strategic alliances. *Journal of general management*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 31, n. 1, p. 41–57, 2005. Citado na página 33.
- MATTIA, W. G. de. *PoP Modeler: Apoio computacional para a modelagem de Processos-de-Processos de Negócio*. 2021. Projeto de Iniciação Científica, Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Citado 3 vezes nas páginas 9, 27 e 52.
- MOHAMMADI, N. G.; HEISEL, M. Patterns for identification of trust concerns and specification of trustworthiness requirements. In: *21st European Conference on Pattern Languages of Programs*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. p. 1–20. Citado na página 24.
- MOLINA, S. et al. Cenários abstratos de tratamento de exceções na interoperabilidade de processos-de-processos de negócios. In: *V Workshop de Modelagem e Simulação de Sistemas intensivos em Software (MSSiS) coalocado ao XIV Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática (CBSOft)*. [S.l.]: SBC, 2023. p. 1–10. Citado 2 vezes nas páginas 79 e 135.
- MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of web of science and scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, Springer, v. 106, n. 1, p. 213–228, 2016. Citado na página 151.
- MORDECAI, Y.; DORI, D. I5: A model-based framework for architecting system-of-systems interoperability, interconnectivity, interfacing, integration, and interaction. In: *23rd INCOSE International Symposium*. Philadelphia, Pennsylvania: Wiley Online Library, 2013. v. 23, p. 1234–1255. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 56.
- MORDECAI, Y.; ORHOF, O.; DORI, D. Model-based interoperability engineering in systems-of-systems and civil aviation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, IEEE, v. 48, n. 4, p. 637–648, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 56.
- NCUBE, C.; LIM, S. L. On systems of systems engineering: A requirements engineering perspective and research agenda. In: *26th International Requirements Engineering Conference (RE)*. Banff, Alberta, Canada: IEEE, 2018. p. 112–123. Citado 6 vezes nas páginas 21, 24, 38, 61, 62 e 133.

NOGUEIRA, F. A.; OLIVEIRA, H. C. D. Application of heuristics in business process models to support software requirements specification. In: *19th International Conference on Enterprise Information Systems*. Porto, Portugal: SciTePress, 2017. v. 2, p. 40–51. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 39.

OLIVEIRA, L. da S. et al. A systems-of-information systems identification method based on business process models analysis. *Revista Gestão & Tecnologia*, v. 22, n. 4, p. 90–115, 2022. Citado na página 24.

OLIVEIRA, L. da S.; VASCONCELOS, A. P. V. de; SANTOS, R. P. dos. Um método para geração de modelo arquitetural de sistemas-de-sistemas de informação a partir da análise de modelos de processos de negócio. In: SBC. *Anais Estendidos do XVIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*. [S.l.], 2022. p. 136–149. Citado na página 24.

OMG. *Business Process Model and Notation (BPMN)*. 2014. <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/>. Acesso em 01 de fevereiro de 2024. Citado 13 vezes nas páginas 13, 26, 40, 63, 64, 70, 89, 90, 94, 119, 134, 137 e 161.

OMG. *Object Constraint Language (OCL)*. 2014. <https://www.omg.org/spec/OCL/2.4>. Acesso em 01 de fevereiro de 2024. Citado na página 48.

OQUENDO, F. Formally describing the software architecture of systems-of-systems with sosadl. In: IEEE. *2016 11th system of systems engineering conference (SoSE)*. [S.l.], 2016. p. 1–6. Citado na página 35.

PARK, S. H.; CHEN, R.; GALLAGHER, S. Firm resources as moderators of the relationship between market growth and strategic alliances in semiconductor start-ups. *Academy of management Journal*, Academy of Management Briarcliff Manor, NY 10510, v. 45, n. 3, p. 527–545, 2002. Citado na página 33.

PRZYBYLEK, A. A business-oriented approach to requirements elicitation. In: *9th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE)*. Lisbon, Portugal: IEEE, 2014. p. 1–12. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 39.

RALPH, P. et al. *ACM SIGSOFT empirical standards, Case Study and Ethnography*. 2020. ACM SIGSOFT, October, 2020. Available: <https://acmsigsoft.github.io/EmpiricalStandards/docs/?standard=CaseStudy>. Accessed: October 21, 2023. Citado na página 106.

ROGERS, Y.; SHARP, H.; PREECE, J. *Design de Interação: Além da Interação Homem-computador*. 3^a. ed. [S.l.]: Bookman, 2013. Citado na página 64.

ROJAS, M.; RINCÓN, C.; MESA, S. Alianzas estratégicas: alternativas generadoras de valor. *Universidad and Empresa*, v. 16, n. 27, p. 289–310, 2014. Citado na página 33.

ROMEDER, S. Fusões e aquisições: Questões críticas na integração dos sistemas. *Computer World*, 2017. Disponível: <https://computerworld.com.br/negocios/fusoes-e-aquisicoes-questoes-criticas-na-integracao-dos-sistemas/>. Citado na página 24.

ROSING, M. von et al. *Business Process Model and Notation-BPMN*. 2015. 429-453 p. Citado na página 40.

- SANTOS, J. M.; GRACIANO-NETO, V. V.; NAKAGAWA, E. Y. Business process modeling in systems of systems. In: SBC. *Anais do II Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software*. [S.l.], 2020. p. 26–35. Citado na página 40.
- SANTOS, K. S. S.; PINHEIRO, L. B. L.; MACIEL, R. S. P. Interoperability types classifications: A tertiary study. In: *17th Brazilian Symposium on Information Systems*. Uberlândia, Minas Gerais, Brazil: ACM, 2021. p. 1–8. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 62.
- SEO, K.-M.; PARK, K.-P.; LEE, B.-J. Achieving data interoperability of communication interfaces for combat system engineering. *IEEE Access*, IEEE, v. 5, p. 17938–17951, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 56.
- SILVA, E. et al. On the characterization of missions of systems-of-systems. In: *8th European Conference on Software Architecture Workshops*. Vienna, Austria: ACM, 2014. p. 1–8. Citado na página 21.
- SOMMERVILLE, I.; SAWYER, P. *Requirements Engineering: a good practice guide*. [S.l.]: John Wiley and Sons, 1997. ISBN 0471974447. Citado na página 38.
- SPERANZA, H.; VISOLI, M.; CARROMEU, C. Plataforma de internet das coisas para monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (ConBAP)*, v. 1, n. 1, p. 378–385, 2022. Citado 3 vezes nas páginas 9, 65 e 106.
- TOLK, A.; DIALLO, S. Y.; TURNITSA, C. D. Applying the levels of conceptual interoperability model in support of integratability, interoperability, and composability for system-of-systems engineering. *Journal of Systems, Cybernetics, and Informatics*, ODU, v. 5, n. 5, p. 65–74, 2007. Citado na página 36.
- TURKMAN, S.; TAWHEEL, A. Business process model driven approach for automatic use case model generation. In: *10th International Symposium on Business Modeling and Software Design*. Cham, Suíça: Springer, 2020. p. 123–136. Citado na página 25.
- VARA, J. L. d. l. et al. A requirements engineering approach for data modelling of process-aware information systems. In: SPRINGER. *3rd International Conference on Business Information Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. p. 133–144. Citado na página 25.
- VARA, J. L. de la; SÁNCHEZ, J.; PASTOR, Ó. Business process modelling and purpose analysis for requirements analysis of information systems. In: *20th International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. p. 213–227. Citado na página 25.
- WESKE, M. *Business Process Management—Concepts, Languages, Architectures*. 3rd edition. ed. [S.l.]: Springer, 2019. ISBN 9783662594315. Citado 21 vezes nas páginas 9, 10, 13, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 83, 84, 85, 86 e 161.
- WHOLIN, C. et al. *Experimentation in software engineering: an introduction*. [S.l.]: Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2000. Citado na página 106.

WYATT, E. A. J. *A reliability-based measurement of interoperability for conceptual-level systems of systems*. Tese (Doutorado) — Georgia Institute of Technology, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 56.

Apêndices

APÊNDICE A – Planejamento e Condução do Mapeamento Sistemático

Este apêndice apresenta como foi realizado o mapeamento sistemático da literatura (MSL) conduzido no âmbito deste trabalho, que seguiu etapas do processo de [Kitchenham \(2004\)](#). A Seção [A.1](#) apresenta o detalhamento da etapa de planejamento do mapeamento sistemático com a definição do objetivo, questão de pesquisa, critérios de inclusão e exclusão, concepção da string de busca e ameaças à validade, enquanto a Seção [A.2](#) apresenta a etapa de condução do mapeamento sistemático, descrevendo o processo de busca e seleção dos estudos primários.

Para auxiliar principalmente as etapas de planejamento e condução, a ferramenta Parsifal ([COMPLEX, 2021](#)) foi adotada que, dentre outras funcionalidades, fornece uma interface amigável para filtragem e seleção dos estudos primários de acordo com os critérios de inclusão e de exclusão definidos no planejamento. A Parsifal também viabiliza a criação e o preenchimento do formulário de extração para, posteriormente, exportar os dados registrados. As ferramentas Mendeley¹ e Microsoft Excel² também foram utilizadas para apoiar a etapa de condução. A primeira foi utilizada para organizar os estudos obtidos nas buscas e os selecionados. A segunda foi empregada para a compilação dos resultados e geração de gráficos.

A.1 Planejamento

O objetivo principal deste MSL é identificar o modo com que os requisitos de interoperabilidade de SoS estão sendo elicitados, especificados e validados. Mais especificamente, são identificados quais tipos de interoperabilidade comumente considerados no contexto de Sistemas-de-Sistemas estão sendo tratados pelos estudos, em quais fases do ciclo de desenvolvimento do SoS os requisitos de interoperabilidade têm sido abordados, quais mecanismos (ou seja, método, técnica, abordagem, *framework*, etc.) têm sido utilizados na literatura para descobrir, especificar e validar requisitos de interoperabilidade do SoS, e, por fim, como esses requisitos e os mecanismos utilizados para elicitá-los e especificá-los são avaliados.

Tomando como base os objetivos específicos da MSL, os autores definiram a seguinte questão de pesquisa principal:

¹ <https://www.mendeley.com>

² <https://www.microsoft.com>

QP. Como os requisitos de interoperabilidade são elicitados, especificados e validados no contexto de SoS?

Os autores também elaboraram as seguintes subquestões de pesquisa para facilitar a extração e síntese dos resultados, obtendo mais detalhes para responder a questão de pesquisa principal:

- **SUBQP1.** Quais tipos de interoperabilidade estão sendo tratados pelos estudos primários no contexto de SoS?
O propósito desta questão é identificar quais tipos de interoperabilidade estão tendo mais enfoque na literatura.
- **SUBQP2.** Em quais fases do ciclo de vida do SoS os requisitos de interoperabilidade estão sendo extraídos e especificados?
O propósito desta questão é verificar se os requisitos de interoperabilidade do SoS estão sendo considerados apenas mais tardiamente no ciclo de vida do SoS, por exemplo, na fase de projeto arquitetural.
- **SUBQP3.** Quais mecanismos (ou seja, método, técnica, abordagem, framework, etc) estão sendo utilizados para extrair requisitos de interoperabilidade do SoS e quais fontes de informação estão sendo consideradas para isso?
O propósito desta questão é identificar se os mecanismos utilizados para identificar requisitos de interoperabilidade do SoS preocupam-se com o alinhamento desses requisitos aos objetivos do negócio, que são automatizados pelo SoS.
- **SUBQP4.** Quais técnicas estão sendo utilizadas para especificar os requisitos de interoperabilidade de SoS?
O propósito desta questão é identificar a forma que esses requisitos são comumente especificados. Em particular, no caso de representação visual, quais diagramas/modelos e notações estão sendo utilizados.
- **SUBQP5.** Quais desafios de interoperabilidade de SoS são tratados pelos estudos e quais são as soluções propostas para resolvê-los?
O propósito desta questão é mapear e entender os principais cenários de interoperabilidade identificados pelos autores e a solução encontrada por eles, caso exista.
- **SUBQP6.** Quais técnicas e critérios são utilizados para validar os requisitos de interoperabilidade de SoS?
O propósito desta questão é levantar como foi realizada a validação dos requisitos e se há técnicas específicas que estão sendo utilizadas para isso.
- **SUBQP7.** Quais técnicas ou métodos são adotados para avaliar os mecanismos de extração de requisitos de interoperabilidade de SoS?

O propósito desta questão de pesquisa é levantar como os mecanismos de extração dos estudos primários estão sendo avaliados.

A estratégia de busca utilizada envolveu buscas eletrônicas em três bibliotecas digitais: Scopus³, IEEE Xplore⁴ e ACM⁵, que são comumente utilizadas em revisões e mapeamentos sistemáticos da área de Engenharia de Software. Ressalta-se que a Scopus indexa artigos de diferentes bibliotecas digitais, como a ACM Digital Library, IEEE Xplore, Science Direct e Springer Link, conseguindo assim atingir um bom nível de cobertura de estudos em uma única busca (MONGEON; PAUL-HUS, 2016). Por essa razão, apenas a Scopus foi utilizada durante a etapa de calibragem da string de busca padrão.

Para elaborar a string de busca padrão foram selecionadas palavras-chaves amplamente utilizadas em artigos publicados em conferências e periódicos internacionais relacionados ao tema de pesquisa. As três palavras-chaves selecionadas foram Sistemas-de-Sistemas, Interoperabilidade e Elicitação, assim como os seus sinônimos para um resultado mais amplo. A string de busca foi calibrada para melhorar a precisão da busca, incluindo ou excluindo outros sinônimos encontrados em dois artigos de controle, que estão apresentados em negrito na Tabela 3 (Capítulo 3, Seção 3.2) e foram identificados ao definir o objetivo do MSL.

A string calibrada após vários refinamentos é apresentada a seguir. Porém, para cada base de busca (i.e., Scopus, IEEE e ACM), foi necessário realizar adaptações na string padrão de acordo com a sintaxe de cada motor de busca e são descritas no Apêndice B.

(“systems of systems” OR “SoS” OR “system of system” OR “systems of system” OR “system of systems” OR “systems-of-systems” OR “system-of-system” OR “systems-of-system” OR “system-of-systems” OR “systems of information systems” OR “SoIS” OR “systems of information system” OR “systems-of-information systems” OR “systems-of-information system”) AND interoperability AND (discover OR discovery OR elicitation OR obtaining OR gaining OR acquisition OR capture OR capturing OR raising OR extracting OR specification OR representation OR modeling OR “model-based systems engineering”)

Para auxiliar a etapa de seleção dos estudos primários, foram definidos quatro critérios de inclusão (CI), exibidos na Tabela 28, e cinco critérios de exclusão (CE), apresentados na Tabela 29. Os estudos resultantes da busca foram selecionados caso atendessem pelo menos um dos CI e excluídos se atendessem ao menos um dos CE. Como o objetivo geral do MSL é de certa forma amplo, foi necessário definir mais de um CI para que todos os estudos relevantes fossem selecionados e analisados.

³ <https://www.scopus.com/>

⁴ <https://ieeexplore.ieee.org/>

⁵ <https://www.acm.org/>

Tabela 28 – Critérios de Inclusão

Código	Descrição
CI1	O estudo propõe uma solução de extração de requisitos de interoperabilidade de Sistemas-de-Sistemas
CI2	O estudo avalia a extração de requisitos de interoperabilidade de Sistemas-de-Sistemas
CI3	O estudo avalia requisitos de interoperabilidade de Sistemas-de-Sistemas
CI4	O estudo considera fatores/elementos que influenciam a interoperabilidade em Sistemas-de-Sistemas

Tabela 29 – Critérios de Exclusão

Código	Descrição
CE1	O estudo não atende aos critérios de inclusão
CE2	O estudo não está disponível
CE3	O estudo está escrito em idioma diferente do inglês
CE4	O estudo é similar a outro que reporta os mesmos resultados, no qual o mais recente é base para análise
CE5	O estudo é um documento não avaliado por pares (por exemplo, prefácio, livro, editorial, resumo, pôster, painel, palestra, mesa redonda, oficina ou demonstração)

Durante o planejamento, um formulário também foi definido para facilitar a extração dos dados relevantes dos estudos primários, que foram selecionados na etapa seguinte. Esse formulário contém campos referentes a metadados do estudo (por exemplo, ano de publicação, tipo de publicação, autores, autores da academia, autores da indústria, etc.) assim como campos correspondentes a dados inerentes a cada questão de pesquisa (por exemplo, tipos de interoperabilidade cobertos, elementos considerados no tratamento da interoperabilidade, etc.).

A.1.1 Ameaças à validade

As principais ameaças à validade deste trabalho estão relacionadas a: (i) *possível perda de estudos relevantes*: para contornar essa ameaça as buscas foram conduzidas em diversas bibliotecas digitais e diversos refinamentos na string de busca foram realizados. Para isso, utilizou-se inicialmente os principais termos encontrados nos artigos de controle previamente selecionados, criando uma tabela para analisar quantitativamente os artigos retornados com a inclusão ou exclusão de termos, bem como seus sinônimos. O termo requisito não foi considerado devido ao número reduzido de estudos retornados. A técnica *forward snowballing* foi aplicada porém nenhum outro estudo relevante foi encontrado. (ii) *parcialidade na seleção dos estudos*: para mitigar essa ameaça o processo definido por Kitchenham (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) foi seguido minuciosamente, sendo que o autor desta dissertação participou das duas etapas de seleção e dois pesquisadores doutores validaram os artigos selecionados; todas as divergências foram discutidas e re-

solvidas por todos os envolvidos. (iii) *Falta de padronização na extração dos dados e de confiabilidade dos resultados*: para tratar essa ameaça criou-se um formulário de extração na ferramenta Parsifal, que foi validado por todos os envolvidos. Os dados dos estudos primários foram extraídos pelo autor deste trabalho e validados e refinados pelos demais. Por fim, todo resultado obtido foi discutido entre os pesquisadores para melhor síntese das respostas das questões de pesquisa.

A.2 Condução

A etapa de condução consistiu inicialmente da realização de buscas no período de 29 de setembro de 2021 a 05 de outubro de 2021, utilizando a string calibrada. Essa string foi adaptada para o motor de busca de cada base digital selecionada na etapa de planejamento (ou seja, IEEE Xplore, ACM e Scopus). As buscas (**Passo 1**) retornaram um total de 583 artigos, conforme ilustrado na Figura 52.

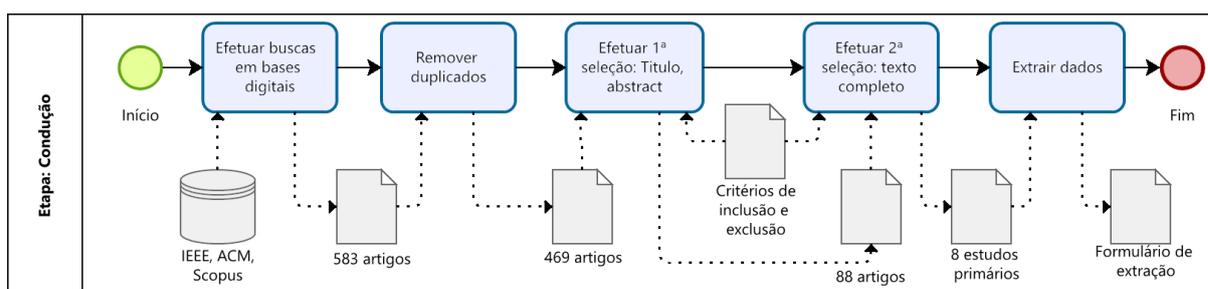


Figura 52 – Condução do Mapeamento Sistemático

Em seguida, 114 estudos foram identificados como duplicados e foram removidos (**Passo 2**), totalizando 469 trabalhos para serem submetidos à primeira seleção. A primeira seleção (**Passo 3**) teve como objetivo selecionar os estudos por meio de uma avaliação rápida, analisando apenas o título e o resumo dos estudos com base nos critérios de inclusão e de exclusão (Tabelas 28 e 29).

Como resultado, 88 estudos foram selecionados para a segunda seleção, que teve como objetivo analisar o texto completo dos trabalhos utilizando os critérios mencionados (**Passo 4**). Nessa última seleção, oito estudos primários foram selecionados (Tabela 3) (Capítulo 3, Seção 3.2), sendo que dois deles referem-se aos artigos de controle (destacados em negrito). Os dados dos estudos primários foram extraídos (**Passo 5**) de acordo com o formulário de extração definido previamente. Esses dados forneceram subsídios para os autores responderem as questões de pesquisa na última etapa do MSL.

APÊNDICE B – Adaptações na String de Busca Padrão

Neste apêndice é apresentada a *string* de busca padrão adaptada para ser executada de forma correta em cada base de busca descrita no planejamento do mapeamento sistemático: *ACM Digital Library* (Tabela 30), *IEEE Xplore* (Tabela 31) e *Scopus* (Tabela 32).

ACM Digital Library
[[All: “systems of systems”] OR [All: “sos”] OR [All: “system of system”] OR [All: “systems of system”] OR [All: “system of systems”] OR [All: “systems-of-systems”] OR [All: “system-of-system”] OR [All: “systems-of-system”] OR [All: “system-of-systems”] OR [All: “systems of information systems”] OR [All: “sois”] OR [All: “systems of information system”] OR [All: “systems-of-information systems”] OR [All: “systems-of-information system”]] AND [Abstract: interoperability] AND [[Abstract: discover] OR [Abstract: discovery] OR [Abstract: elicitation] OR [Abstract: obtaining] OR [Abstract: gaining] OR [Abstract: acquisition] OR [Abstract: capture] OR [Abstract: capturing] OR [Abstract: raising] OR [Abstract: extracting] OR [Abstract: specification] OR [Abstract: representation] OR [Abstract: modeling] OR [Abstract: “model-based systems engineering”]]

Tabela 30 – *String* padrão adaptada para ACM Digital Library

IEEE Xplore
(“All Metadata”:“systems of systems” OR “All Metadata”:“SoS” OR “All Metadata”:“system of system” OR “All Metadata”:“systems of system” OR “All Metadata”:“system of systems” OR “All Metadata”:“systems-of-systems” OR “All Metadata”:“system-of-system” OR “All Metadata”:“systems-of-system” OR “All Metadata”:“system-of-systems” OR “All Metadata”:“systems of information systems” OR “All Metadata”:“SoIS” OR “All Metadata”: “systems of information system” OR “All Metadata”:“systems-of-information systems” OR “All Metadata”:“systems-of-information system”) AND (“All Metadata”:discover OR “All Metadata”:discovery OR “All Metadata”:elicitation OR “All Metadata”:obtaining OR “All Metadata”:gaining OR “All Metadata”:acquisition OR “All Metadata”:capture OR “All Metadata”:capturing OR “All Metadata”:raising OR “All Metadata”:extracting OR “All Metadata”:specification OR “All Metadata”:representation OR “All Metadata”:modeling OR “All Metadata”:“model-based systems engineering”) AND (“All Metadata”:interoperability))

Tabela 31 – *String* padrão adaptada para IEEE Xplore

Scopus
TITLE-ABS-KEY ((“systems of systems” OR “SoS” OR “system of system” OR “systems of system” OR “system of systems” OR “systems-of-systems” OR “system-of-system” OR “systems-of-system” OR “system-of-systems” OR “systems of information systems” OR “SoIS” OR “systems of information system” OR “systems-of-information systems” OR “systems-of-information system”) AND interoperability AND (discover OR discovery OR elicitation OR obtaining OR gaining OR acquisition OR capture OR capturing OR raising OR extracting OR specification OR representation OR modeling OR “model-based systems engineering”))

Tabela 32 – *String* padrão adaptada para Scopus

APÊNDICE C – Cenários Concretos de Interoperabilidade em PoP

Neste apêndice são apresentados dois cenários concretos de interoperabilidade elicitados por meio de entrevistas com colaboradores da Agência de Tecnologia e Informação (Agetic) da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, apresentados nas seções C.1 e C.2. As entrevistas foram conduzidas nos dias 18 de agosto de 2022 e 20 de dezembro de 2022, sendo a última com o objetivo de validar a representação dos cenários.

C.1 PoP - Autenticação de usuários unificada

Missão: Oferecer autenticação única para usuários em todos os sistemas da UFMS com as mesmas credenciais.

Processos constituintes envolvidos: Sistemas UFMS, Keycloak¹, AD, GovBR²

Descrição de acordo com a modelagem: O usuário acessa um sistema da UFMS e realiza uma solicitação de login. Feito isso, o sistema da UFMS irá redirecionar para o sistema do Keycloak, que irá solicitar o tipo de autenticação que o usuário deseja realizar, podendo ser via GovBR ou internamente (AD).

Selecionado o tipo de autenticação, o usuário irá fornecer os dados necessários e submeter a solicitação ao sistema correspondente, que irá validar esses dados e retornar uma mensagem. Essa mensagem será processada e irá validar o usuário. Caso esteja válido, o Keycloak irá consultar as permissões do usuário e retornar ao sistema UFMS a requisição de sucesso contendo o permissionamento recorrente. Caso o usuário não seja válido, o Keycloak irá retornar uma mensagem de erro ao sistema UFMS.

O sistema UFMS, por sua vez, irá validar o retorno recebido, autenticando o usuário e fornecendo o acesso correspondente, ou exibindo a mensagem de erro correspondente, podendo ser erro de sistema ou não, e possibilitará repetir o processo.

O processo de entrevista realizado com gestores da Agetic resultou na modelagem e validação do Modelo Detalhado da Missão “Oferecer autenticação única para usuários em todos os sistemas da UFMS com as mesmas credenciais” deste PoP, conforme exibido na Figura 53.

¹ <https://www.keycloak.org>

² <https://www.gov.br>

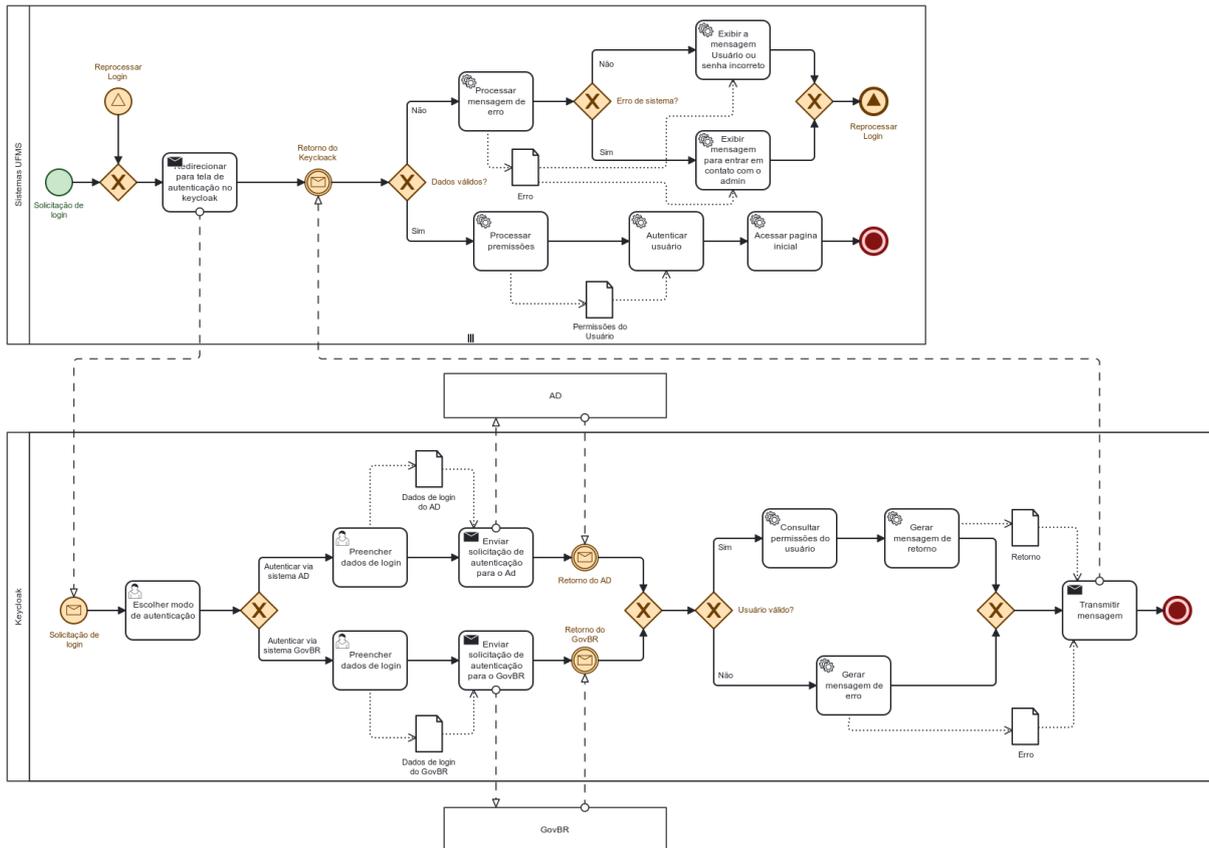


Figura 53 – Modelo detalhado da Missão “Oferecer autenticação única para usuários em todos os sistemas da UFMS com as mesmas credenciais” do PoP Autenticação de usuários unificada

C.2 PoP - Repositório Institucional da UFMS

Missão: Inserção de trabalhos intelectuais de Acadêmicos e Servidores da UFMS em um repositório central da instituição.

Processos constituintes envolvidos: SISCAD³, SIGPOS⁴, Repositório Institucional (RI)⁵, Constituinte de obtenção e análise de metadados da UFMS, Lattes⁶ e AGETIC⁷.

Descrição de acordo com a modelagem: No caso dos trabalhos de graduação e pós-graduação, após os acadêmicos se autenticarem nos sistemas correspondentes (SISCAD para alunos de graduação e SIGPOS para alunos de pós-graduação) e realizarem o processo para a submissão de sua produção intelectual, incluindo metadados e o arquivo PDF, ocorre um processo de autenticação com os bancos de dados BD-SISCAD e BD-SIGPOS.

Os bancos de dados de ambos os sistemas, BD-SIGPOS e BD-SISCAD, realizam

³ <https://siscad.ufms.br>

⁴ <https://posgraduacao.ufms.br>

⁵ <https://repositorio.ufms.br>

⁶ <https://lattes.cnpq.br>

⁷ <https://agetico.ufms.br>

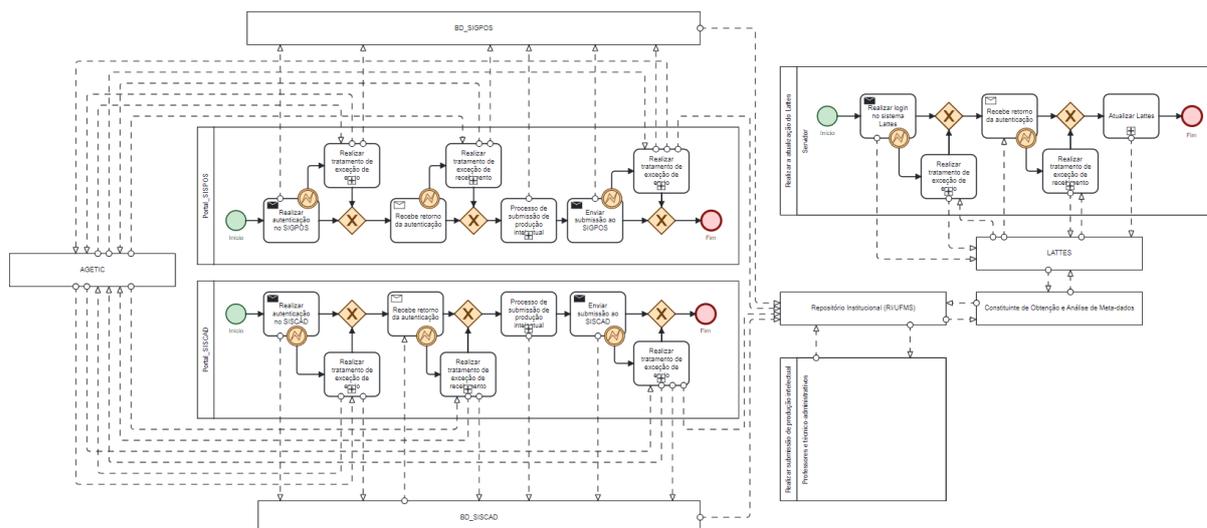


Figura 54 – Modelo detalhado da Missão “Inserção de trabalhos intelectuais de Acadêmicos e Servidores da UFMS em um repositório central da instituição” do PoP Repositório Institucional da UFMS

de forma automática a sincronização das produções para o Repositório Institucional da UFMS. Essa automatização garante que as produções sejam transferidas de forma eficiente e rápida para o repositório, proporcionando uma integração adequada entre os sistemas envolvidos.

No caso das produções intelectuais dos servidores da UFMS, elas são registradas diretamente no Repositório Institucional. Quando se trata das produções intelectuais registradas no Lattes, um componente específico da UFMS é responsável por executar um script para consumir as informações do Lattes. Esse script permite obter os dados do servidor da UFMS, incluindo o arquivo XML correspondente às produções intelectuais. Em seguida, o componente realiza a análise desses dados e extrai os metadados necessários. Por fim, essas informações são enviadas diretamente para o RI por meio de uma requisição, permitindo que as produções intelectuais sejam incorporadas ao repositório. Essa integração com o Lattes contribui para a atualização e agregação de informações relevantes ao RI.

O processo de entrevista realizado com gestores da Agetic resultou na modelagem e validação do Modelo Detalhado da Missão “Inserção de trabalhos intelectuais de Acadêmicos e Servidores da UFMS em um repositório central da instituição” deste PoP, conforme exibido na Figura 54.

APÊNDICE D – Formulário para Validação dos cenários abstratos

Este apêndice apresenta o conteúdo do questionário criado na ferramenta *Google Forms*¹ para auxiliar na coleta de dados dos participantes durante a avaliação dos cenários abstratos definidos neste trabalho.

A Seção D.1 descreve o termo de consentimento para a aplicação do questionário e a Seção D.2 lista as questões criadas para coletar as informações necessárias para obter o feedback avaliativo dos cenários e perfil dos entrevistados. Para cada pergunta referente a um cenário abstrato é apresentada uma descrição geral do cenário e sua modelagem em BPMN na qual não foi inserida no apêndice, pois já estão presentes na descrição de cada cenário no Capítulo 4, Seção 4.3.

D.1 Apresentação do formulário

Termo de Consentimento

Olá! Você está sendo convidado (a) para participar, como voluntário (a), em uma pesquisa científica na área de modelagem de processos de negócio na notação BPMN (*Business Process Model and Notation*). Caso você não queira participar, não há problema algum. Você não precisa explicar o porquê, basta selecionar a opção “não” (não concordando com o termo) ou não responder a pesquisa.

Nós elaboramos a modelagem de oito cenários abstratos para representar diversas situações de comunicação entre processos de negócio distintos que compõem Processos-de-Processos de Negócio (PoP). PoP se refere a um conjunto de vários processos de negócios constituintes que juntos fazem surgir grandes processos de negócios complexos e dinâmicos que são automatizados por SoS e são denominados Processos-de-Processos de Negócio. Além da comunicação entre os processos constituintes, nós também modelamos o tratamento de exceções durante o envio e o recebimento de mensagens entre tais processos.

Os cenários abstratos foram modelados a partir da adaptação de padrões de coreografia de Weske (WESKE, 2019) e de exemplos de coreografias da especificação BPMN 2.0 da OMG (OMG, 2014a) para o contexto de PoP dirigido (ou seja, quando os processos constituintes automatizados por sistemas constituintes de SoS são controlados por um autoridade central, isto é, por um processo dominante para alcançar as missões do PoP

¹ <https://docs.google.com/forms/u/0/>

e, conseqüentemente, do SoS) e a partir da modelagem de seis cenários de PoP concretos relacionados a diversos domínios como educacional, agronegócio, aviação civil e saúde.

O objetivo atual da nossa pesquisa é analisar se a modelagem de cada cenário abstrato está apropriada, com o propósito de oferecer uma representação adequada em BPMN da interoperabilidade entre processos de negócio que compõem Processos-de-Processos de Negócios (PoP), com respeito ao entendimento da interoperabilidade entre tais processos a partir do ponto de vista de especialistas em modelagem de processos de negócio na notação BPMN.

Esta pesquisa está dividida nas seguintes seções: Na segunda seção, você encontrará perguntas associadas ao seu perfil - caracterização, experiência e nível de conhecimento de BPMN. Na terceira seção, apresentamos a modelagem de cada cenário abstrato para ser avaliada. Por fim, na última seção, queremos saber sua intenção em obter os resultados da nossa pesquisa.

A pesquisa é acadêmica e sem interesses comerciais. Vamos publicar abertamente os resultados para que todos possam se beneficiar deles, tornando tudo anônimo antes de fazê-lo. Depois que os dados forem coletados e analisados, seu e-mail será removido e não será usado em qualquer momento durante a análise ou quando apresentarmos os resultados. Se em algum momento durante a pesquisa você quiser sair, você estará livre para fazer isso sem quaisquer conseqüências negativas.

Agradecemos desde já!

Glossário de Termos

Processo Constituinte: Processo de negócio que compõe o PoP, podendo ser executado e evoluído independentemente do PoP;

Constituinte Dominante: Processo constituinte do PoP que direciona ações a outros constituintes para alcançar as missões do PoP;

Requisição: Mensagem enviada durante a comunicação entre dois constituintes distintos;

Agente Externo: Ações humanas para apoiarem as tarefas de envio de requisição e de recebimento de retorno de requisição quando há presença de falhas;

Falha: Ocorre quando algum constituinte não cumpre seu objetivo;

Dinamismo: Capacidade de um Constituinte realizar uma ação em tempo de execução, com o objetivo de não afetar seu desempenho ou deixar de executar um comportamento;

E-mail:

- Você concorda com o termo de consentimento acima?

- Sim.
- Não.

D.2 Perguntas para avaliação dos cenários abstratos e caracterização dos pesquisadores

1. Informações sobre você

- Estado do Brasil em que reside (pergunta aberta);
- Maior nível de escolaridade:
 - Graduação completa.
 - Cursando especialização lato sensu.
 - Especialização lato sensu completa.
 - Cursando mestrado.
 - Mestrado completo.
 - Cursando doutorado.
 - Doutorado completo.
 - Cursando pós-doc.
 - Pós-doc completo.
- Principal área de formação:
 - Engenharia de Software.
 - Ciência da Computação.
 - Sistemas de Informação.
 - Tecnologia da Informação.
 - Engenharia da Computação.
- Cargo/Função:
 - Professor
 - Pesquisador.
 - Gerente de Projetos.
 - Gerente de Negócios.
 - Gerente de TI.
 - Analista de Requisitos.
 - Analista de Negócios.
 - Desenvolvedor.
 - Arquiteto de Software.

- Testador.

2. Informações sobre seu conhecimento e experiência na notação BPMN

- Como você considera seu nível de conhecimento na notação BPMN?
 - 1) Excelente.
 - 2) Muito bom.
 - 3) Bom.
 - 4) Razoável.
 - 5) Ruim.
- Tempo de prática com o uso da notação BPMN em meses (pergunta aberta).
- Já utilizou a notação BPMN para modelar comunicação entre processos de negócios?
 - Sim.
 - Não.
 - Não me lembro.
- Já utilizou a notação BPMN para modelar tratamento de exceções em processos de negócios?
 - Sim.
 - Não.
 - Não me lembro.

3. Avaliação dos Cenários Abstratos

- Cenário Abstrato - Vários envios e vários recebimentos (adaptado de One-To-Many Send/Receive (Weske, 2019))
Você concorda com a modelagem do cenário abstrato?
 - 1) Discordo totalmente.
 - 2) Discordo.
 - 3) Não estou decidido.
 - 4) Concordo.
 - 5) Concordo totalmente.
 - Você gostaria de sugerir melhorias para a modelagem do cenário abstrato caso você não tenha concordado totalmente?
- Cenário Abstrato - Vários envios e uma resposta de cada constituinte
Você concorda com a modelagem do cenário abstrato?
 - 1) Discordo totalmente.

- 2) Discordo.
 - 3) Não estou decidido.
 - 4) Concordo.
 - 5) Concordo totalmente.
 - Você gostaria de sugerir melhorias para a modelagem do cenário abstrato caso você não tenha concordado totalmente?
- Cenário Abstrato - Requisições Contingentes (adaptado de Contingent Requests (Weske, 2019))
Você concorda com a modelagem do cenário abstrato?
 - 1) Discordo totalmente.
 - 2) Discordo.
 - 3) Não estou decidido.
 - 4) Concordo.
 - 5) Concordo totalmente.
 - Você gostaria de sugerir melhorias para a modelagem do cenário abstrato caso você não tenha concordado totalmente?
- Cenário Abstrato - Múltiplas respostas (adaptado de Multi-responses (Weske, 2019))
Você concorda com a modelagem do cenário abstrato?
 - 1) Discordo totalmente.
 - 2) Discordo.
 - 3) Não estou decidido.
 - 4) Concordo.
 - 5) Concordo totalmente.
 - Você gostaria de sugerir melhorias para a modelagem do cenário abstrato caso você não tenha concordado totalmente?
- Cenário Abstrato - Corrida de requisições recebidas (adaptado de Racing incoming messages pattern (Weske, 2019))
Você concorda com a modelagem do cenário abstrato?
 - 1) Discordo totalmente.
 - 2) Discordo.
 - 3) Não estou decidido.
 - 4) Concordo.
 - 5) Concordo totalmente.
 - Você gostaria de sugerir melhorias para a modelagem do cenário abstrato caso você não tenha concordado totalmente?

- Cenário Abstrato - Requisição com Referência (adaptado de Request with referral pattern (Weske, 2019))

Você concorda com a modelagem do cenário abstrato?

- 1) Discordo totalmente.
- 2) Discordo.
- 3) Não estou decidido.
- 4) Concordo.
- 5) Concordo totalmente.
- Você gostaria de sugerir melhorias para a modelagem do cenário abstrato caso você não tenha concordado totalmente?

- Variante dos cenários abstratos de interoperabilidade - Contratos de interoperabilidade no envio e recebimento de requisição

Você concorda com a modelagem da variante?

- 1) Discordo totalmente.
- 2) Discordo.
- 3) Não estou decidido.
- 4) Concordo.
- 5) Concordo totalmente.
- Você gostaria de sugerir melhorias para a modelagem da variante caso você não tenha concordado totalmente?

4. Obtenção dos resultados da pesquisa

- Futuramente, você gostaria de receber os resultados finais desta pesquisa?
 - Sim.
 - Não.

APÊNDICE E – Requisitos de Interoperabilidade PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

Neste apêndice são apresentados os requisitos de interoperabilidade no formato compacto do PoP Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal) extraídos manualmente que não foram descritos na discussão do Capítulo 5, Seção 5.3.

Tabela 33 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 02 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	02
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	COIMMA deve interoperar com BallPass para envio de informações (processo de envio independente), considerando para o envio que o envio da mensagem é realizado de modo independente, COIMMA envia uma mensagem para BallPass; e considerando para o recebimento que BallPass recebe uma mensagem de COIMMA.
Rastreabilidade	Piscina (COIMMA) / Evento (Retorno da transmissão)

Tabela 34 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 01 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	04
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	BEP - Bovine Electronic Platform deve interoperar com INDEXT para Transmitir lista de pesos dos bovinos, considerando para o envio que os dados são obtidos a partir de um repositório de dados: Repositório de dados vitais dos bovinos; BEP - Bovine Electronic Platform envia uma mensagem para INDEXT; Caso ocorra uma falha durante a interoperabilidade, a transmissão da mensagem é interrompida e o tratamento de erro é executado; e considerando para o recebimento que o recebimento da mensagem é realizado de modo independente; INDEXT recebe uma mensagem de BEP - Bovine Electronic Platform.
Rastreabilidade	Tarefa (Transmitir lista de dados vitais e ambientais) / Piscina (INDEXT)

Tabela 35 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 05 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	05
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-

Descrição textual detalhada	Dojot deve interoperar com COIMMA para Criar comunicação com o gateway, considerando para o envio que Dojot envia uma mensagem para COIMMA; e considerando para o recebimento que O recebimento da mensagem é realizado de modo independente, COIMMA recebe uma mensagem de Dojot.
Rastreabilidade	Tarefa (Criar comunicação com o gateway) / Piscina (COIMMA)

Tabela 36 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 06 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	06
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	Dojot deve interoperar com COIMMA para Sincronizar os dados do dia, considerando para o envio que Dojot envia uma mensagem para COIMMA; e considerando para o recebimento que O recebimento da mensagem é realizado de modo independente, COIMMA recebe uma mensagem de Dojot.
Rastreabilidade	Tarefa (Sincronizar os dados do dia) / Piscina (COIMMA)

Tabela 37 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 07 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	03
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-

Descrição textual detalhada	COIMMA deve interoperar com Dojot para envio de informações (processo de envio independente), considerando para o envio que o envio da mensagem é realizado de modo independente, COIMMA envia uma mensagem para Dojot; e considerando para o recebimento que Dojot recebe uma mensagem de COIMMA.
Rastreabilidade	Piscina (COIMMA) / Evento (Receber dados transmitidos)

Tabela 38 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 08 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	08
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	Dojot deve interoperar com INDEXT para Criar comunicação com o gateway, considerando para o envio que Dojot envia uma mensagem para INDEXT; e considerando para o recebimento que O recebimento da mensagem é realizado de modo independente, INDEXT recebe uma mensagem de Dojot.
Rastreabilidade	Tarefa (Criar comunicação com o gateway) / Piscina (INDEXT)

Tabela 39 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 09 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	09
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-

Descrição textual detalhada	Dojot deve interoperar com INDEXT para Sincronizar os dados do dia, considerando para o envio que Dojot envia uma mensagem para INDEXT; e considerando para o recebimento que O recebimento da mensagem é realizado de modo independente, INDEXT recebe uma mensagem de Dojot.
Rastreabilidade	Tarefa (Sincronizar os dados do dia) / Piscina (INDEXT)

Tabela 40 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 10 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	10
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	Dojot deve interoperar com METOS para Criar comunicação com o gateway, considerando para o envio que Dojot envia uma mensagem para METOS; e considerando para o recebimento que O recebimento da mensagem é realizado de modo independente, METOS recebe uma mensagem de Dojot.
Rastreabilidade	Tarefa (Criar comunicação com o gateway) / Piscina (METOS)

Tabela 41 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 11 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	11
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-

Descrição textual detalhada	Dojot deve interoperar com METOS para Sincronizar os dados do dia, considerando para o envio que Dojot envia uma mensagem para METOS; e considerando para o recebimento que O recebimento da mensagem é realizado de modo independente, METOS recebe uma mensagem de Dojot.
Rastreabilidade	Tarefa (Sincronizar os dados do dia) / Piscina (METOS)

Tabela 42 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 12 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	12
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	METOS deve interoperar com Dojot para envio de informações (processo de envio independente), considerando para o envio que O envio da mensagem é realizado de modo independente, METOS envia uma mensagem para Dojot; e considerando para o recebimento que Dojot recebe uma mensagem de METOS.
Rastreabilidade	Piscina (METOS) / Evento (Receber dados transmitidos)

Tabela 43 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 13 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	13
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-

Descrição textual detalhada	INDEXT deve interoperar com Dojot para envio de informações (processo de envio independente), considerando para o envio que O envio da mensagem é realizado de modo independente, INDEXT envia uma mensagem para Dojot; e considerando para o recebimento que Dojot recebe uma mensagem de INDEXT.
Rastreabilidade	Piscina (INDEXT) / Evento (Receber dados transmitidos)

Tabela 44 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 14 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	14
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	Estação ECOD3 deve interoperar com METOS para Transmitir dados ambientais, considerando para o envio que Os dados são obtidos a partir de um repositório de dados: Repositório de dados ambientais; Estação ECOD3 envia uma mensagem para METOS; e considerando para o recebimento que O recebimento da mensagem é realizado de modo independente, METOS recebe uma mensagem de Estação ECOD3.
Rastreabilidade	Tarefa (Transmitir dados ambientais) / Piscina (METOS)

Tabela 45 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 16 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	16
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-

Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	Dojot deve interoperar com CPqD PlatIAgro para Requisitar novo processamento de dados, considerando para o envio que os dados são obtidos a partir de um repositório de dados: Repositório de dados do Dojot; Dojot envia uma mensagem para CPqD PlatIAgro; e considerando para o recebimento que O recebimento da mensagem é realizado de modo independente, CPqD PlatIAgro recebe uma mensagem de Dojot.
Rastreabilidade	Tarefa (Requisitar novo processamento de dados) / Piscina (CPqD PlatIAgro)

Tabela 46 – Requisito de Interoperabilidade compacto extraído manualmente - ID 17 - Missão: Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal

Campo	Descrição
ID	17
Classe	Interoperabilidade
Sujeito	SoS - Monitoramento de produtividade e bem-estar animal em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Informação da mensagem relacionada à interoperabilidade	-
Condição da interoperabilidade	-
Descrição textual detalhada	CPqD PlatIAgro deve interoperar com Dojot para envio de informações (processo de envio independente), considerando para o envio que O envio da mensagem é realizado de modo independente, CPqD PlatIAgro envia uma mensagem para Dojot; e considerando para o recebimento que Dojot recebe uma mensagem de CPqD PlatIAgro.
Rastreabilidade	Piscina (CPqD PlatIAgro) / Evento (Receber indicadores de ganho de produtividade animal)

APÊNDICE F – Formulário para Validação da ferramenta PoP-IRE

F.1 Apresentação do questionário

Termo de Consentimento para Avaliação da Ferramenta PoP-IRE

Prezado(a),

Você está sendo cordialmente convidado(a) a participar voluntariamente da avaliação da ferramenta PoP-based Interoperability Requirements Extraction (PoP-IRE). Sua participação é fundamental para aprimorarmos a ferramenta. Porém, caso opte por não participar, isso não terá qualquer impacto em sua relação conosco. Você pode simplesmente selecionar a opção "não" (discordando com o termo) ou optar por não responder.

Desenvolvemos a ferramenta PoP-IRE com o propósito de extrair requisitos de interoperabilidade a partir de modelos de PoP (Processos-de-Processos de Negócio). Neste momento, estamos na fase de avaliação da ferramenta, e sua colaboração é imprescindível.

Seu papel será utilizar a ferramenta para extrair requisitos de interoperabilidade do Sistema-de-Sistemas (SoS) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta a partir do Modelo Detalhado da Missão “Aumento da produtividade por meio de índices de bem-estar animal”. Além disso, solicitaremos que você responda algumas perguntas sobre sua experiência com a ferramenta, bem como sobre a completude, utilidade e alinhamento dos requisitos extraídos com o negócio.

Caso concorde em avaliar a ferramenta PoP-IRE, solicitamos que siga os passos abaixo e responda às perguntas que constam no formulário até 28/03/2024 (tempo estimado para teste, validação e resposta do formulário é de 15 a 20 minutos).

Lembre-se de que sua participação é voluntária e você pode interrompê-la a qualquer momento, sem sofrer quaisquer consequências negativas.

A ferramenta está disponível em: <https://popmodeler.ledes.net/signin>

A documentação está disponível em: <https://popmodelerdoc.ledes.net/extractRequirements/>

Glossário de Termos:

Modelo Detalhado de Missão: Representação detalhada das atividades e demais elementos importantes para representar os fluxos de execução a fim de alcançar um objetivo específico de negócio de um determinado PoP. PoP (Processos-de-Processos de Negócios): Conjunto de vários processos de negócios que, juntos, formam grandes processos

de negócios complexos e dinâmicos automatizados por SoS.

Requisitos de Interoperabilidade: Conjunto de especificações que define como um sistema deve realizar uma comunicação entre dois sistemas constituintes distintos.

Sistema Constituinte: Sistema independente gerencialmente e operacionalmente que contribui para o alcance de um objetivo específico de negócio.

SoS (Sistemas-de-Sistemas): Conjunto de sistemas independentes que, juntos, formam um sistema maior com funcionalidades mais complexas.

Agradecemos antecipadamente pela sua participação!

Atenciosamente,

Murilo Costa e Maria Istela Cagnin

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

F.2 Perguntas para avaliação da ferramenta PoP-IRE

1. Você concorda com o termo de consentimento acima?

- Sim
- Não

1. Na sua opinião, as especificações dos requisitos de interoperabilidade estão completas?

- (i) Concordo completamente;
- (ii) Concordo parcialmente;
- (iii) Não concordo e nem discordo
- (iv) Discordo
- (v) Discordo completamente

Caso tenha escolhido uma das opções de **(ii) a (v)**, por favor, justifique a sua resposta.

2. Na sua opinião, as especificações dos requisitos de interoperabilidade estão alinhadas ao negócio?

- (i) Concordo completamente
- (ii) Concordo parcialmente
- (iii) Não concordo e nem discordo
- (iv) Discordo
- (v) Discordo completamente

Caso tenha escolhido uma das opções de **(ii) a (v)**, por favor, justifique a sua resposta.

3. Na sua opinião, as especificações dos requisitos extraídos pela ferramenta são úteis?

- (i) Concordo completamente
- (ii) Concordo parcialmente
- (iii) Não concordo e nem discordo
- (iv) Discordo
- (v) Discordo completamente

Caso tenha escolhido uma das opções de **(ii) a (v)**, por favor, justifique a sua resposta.

4. Na sua opinião, as especificações dos requisitos extraídos pela ferramenta estão claras, facilitando o seu entendimento?

- (i) Concordo completamente
- (ii) Concordo parcialmente
- (iii) Não concordo e nem discordo
- (iv) Discordo
- (v) Discordo completamente

Caso tenha escolhido uma das opções de **(ii) a (v)**, por favor, justifique a sua resposta.

5. Você utilizaria as especificações obtidas pela ferramenta para potencialmente aprimorar os sistemas da Embrapa relacionados à funcionalidade “Geração de índices de bem-estar animal” ?

- (i) Concordo completamente
- (ii) Concordo parcialmente
- (iii) Não concordo e nem discordo
- (iv) Discordo
- (v) Discordo completamente

Caso tenha escolhido uma das opções de **(ii) a (v)**, por favor, justifique a sua resposta.

6. Na sua opinião, você considera a ferramenta fácil de utilizar?

- (i) Concordo completamente
- (ii) Concordo parcialmente

- (iii) Não concordo e nem discordo
- (iv) Discordo
- (v) Discordo completamente

Caso tenha escolhido uma das opções de **(ii) a (v)**, por favor, justifique a sua resposta.

7. Na sua opinião, você considera a ferramenta útil para ajudar na extração e especificação de requisitos de interoperabilidade?

- (i) Concordo completamente
- (ii) Concordo parcialmente
- (iii) Não concordo e nem discordo
- (iv) Discordo
- (v) Discordo completamente

Caso tenha escolhido uma das opções de **(ii) a (v)**, por favor, justifique a sua resposta.

8. Na sua opinião, você recomendaria a ferramenta para outros engenheiros de SoS?

- (i) Concordo completamente
- (ii) Concordo parcialmente
- (iii) Não concordo e nem discordo
- (iv) Discordo
- (v) Discordo completamente

Caso tenha escolhido uma das opções de **(ii) a (v)**, por favor, justifique a sua resposta.

Fique à vontade para registrar aqui quaisquer sugestões de melhorias na ferramenta que achar pertinente.