

Sidny de Almeida Molina Pereira

**Abordagem baseada em Cenários para Extrair
Requisitos de Tolerância a Falhas de
Sistemas-de-Sistemas a partir de
Processos-de-Processos de Negócio**

Campo Grande, MS

Abril, 2024

Sidny de Almeida Molina Pereira

Abordagem baseada em Cenários para Extrair Requisitos de Tolerância a Falhas 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, 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 a Deus, meu Pai Maior, aos meus Orixás e entidades, por me concederem sabedoria, por guiarem-me no caminho correto e por serem meu amparo nas horas mais difíceis desta jornada.

Agradeço também aos meus pais por vosso constante apoio nos estudos e por nunca desistirem de mim. Sou grato por sempre terem acreditado em meu potencial!

Agradeço à minha família em geral pela motivação, incentivo de continuar a carreira acadêmica e aos demais apoio de sempre.

Agradeço à minha namorada e futura esposa, Tassia Hinojosa, por toda a paciência, dedicação e apoio durante esta jornada. Mesmo nos momentos difíceis, você nunca me abandonou, sempre esteve ao meu lado, me apoio com tudo o que eu precisei nesta jornada e por isso, sou eternamente grato à você. Eu amo você!

Agradeço à Prof^a Maria Istela Cagnin por toda a atenção, paciência e dedicação que dispensou durante a orientação deste trabalho de mestrado. Agradeço também por sempre me encorajar a prosseguir nesta jornada acadêmica e jamais desistir do mestrado. Reconheço e agradeço pelas críticas, questionamentos e abordagens que me fizeram pensar “fora da caixa”, estimulando meu interesse pela pesquisa científica. Suas influências, sem dúvida alguma, mudaram minha forma de pensar, tornando-me mais crítico, criterioso e questionador. Obrigado por acreditar em mim e por me dar a oportunidade de trabalhar ao seu lado!

Agradeço imensamente aos professores da Faculdade de Computação (FACOM) da UFMS, cujas contribuições foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho de mestrado.

Expresso minha sincera gratidão ao meu amigo Murilo Costa, por ter compartilhado comigo esta jornada no mestrado e por nossa colaboração mútua durante as pesquisas acadêmicas.

Gostaria de estender meus agradecimentos à equipe da AGETIC da UFMS por aceitarem participar das reuniões, colaborando na identificação de cenários concretos (reais) de PoP e na avaliação da ferramenta desenvolvida neste trabalho de mestrado.

Um agradecimento especial também aos especialistas em BPMN que gentilmente se voluntariaram para participar da pesquisa sobre cenários abstratos desenvolvida ao longo deste trabalho. Suas valiosas contribuições foram fundamentais para o progresso desta pesquisa.

Expresso minha gratidão aos organizadores do Workshop de Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software (MSSiS), em particular ao amigo e Prof^o Valdemar Graciano Neto (UFG), por me convidar a participar como membro de divulgação do MSSiS e por ter acreditado em meu potencial, além de indicar contribuições ao meu trabalho de mestrado.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu amigo e líder Fábio Ramos, da empresa onde trabalho, por seu apoio incondicional durante as atividades desenvolvidas no ambiente profissional. Sem a sua ajuda e suporte, eu não teria alcançado o sucesso neste trabalho.

Também desejo agradecer à equipe de Suporte Técnico da empresa onde trabalho, cujo apoio foi fundamental para a realização das atividades acadêmicas no ambiente de trabalho. As colaborações foram inestimáveis para o progresso deste projeto.

Agradeço igualmente aos demais profissionais da empresa onde trabalho, bem como àqueles que já fizeram parte dela, pelo contínuo apoio e incentivo ao meu progresso neste trabalho de mestrado.

Agradeço também aos meus colegas do curso de especialização em Tecnologias e Sistemas de Informação (TSI), ofertado pela Universidade Federal do ABC (UFABC), pelo apoio valioso ao longo desta jornada.

Por último, mas não menos importante, gostaria de estender meus sinceros agradecimentos à UFMS como um todo, pelo acolhimento caloroso, carinho e receptividade demonstrados ao longo desta jornada acadêmica.

Resumo

Contexto: Sistemas-de-Sistemas (do inglês, *Systems-of-Systems* ou SoS) se referem a um agrupamento de sistemas de software, denominados sistemas constituintes, de diversas organizações que têm seus processos de negócios específicos. Quando esses processos são reunidos para alcançar objetivos estratégicos de alianças de organizações (tais como parcerias, fusões ou aquisições de empresas), surgem processos de negócios complexos e dinâmicos que são normalmente automatizados por SoS e são denominados Processos-de-Processos de Negócio (do inglês, *Processes-of-Business Processes* ou PoP). Sob essa perspectiva, para alcançar os objetivos estratégicos das alianças, os sistemas constituintes interoperam entre eles para obter comportamentos não fornecidos por um único sistema de software. **Problema:** Falhas podem ocorrer durante essa interoperabilidade afetando o funcionamento e a confiabilidade do SoS como um todo. Apesar da importância dos requisitos de tolerância a falhas para a estabilidade do SoS, eles ainda não são muito explorados na literatura. Os trabalhos existentes geralmente consideram esses requisitos apenas durante o *design* arquitetural, negligenciando a importância do tratamento de requisitos ao longo de todo o ciclo de vida do SoS, bem como o alinhamento entre os níveis técnico e de negócio. **Objetivo:** Este trabalho de mestrado visa definir uma abordagem baseada em cenários na notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) para extrair sistematicamente requisitos de tolerância a falhas de SoS, relacionados a problemas de comunicação entre sistemas constituintes, a partir de informação útil de PoP. Essa abordagem consiste de um metamodelo baseado em elementos de tratamento de exceções da notação BPMN, comumente utilizados para representar falhas de comunicação entre processos de negócio de alianças de organizações, e de um conjunto de diretrizes de extração automática de requisitos de tolerância a falhas de SoS baseadas em elementos desse metamodelo. Os elementos de tratamento de exceções desse metamodelo foram identificados a partir da análise de cenários abstratos de tratamento de exceção de envio e de recebimento de mensagens, que foram construídos com base no conhecimento adquirido a partir da modelagem de cinco cenários concretos de PoP reais de quatro domínios distintos (ou seja, educacional, agronegócio, emergência e saúde hospitalar). **Método de pesquisa:** O trabalho foi desenvolvido com base no método de pesquisa *Design Science Research*, obtendo-se os seguintes artefatos: dois cenários abstratos, um metamodelo e um conjunto de diretrizes de extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS. **Resultado:** O trabalho apoia especialmente as etapas de extração e especificação de requisitos de tolerância a falhas durante a Engenharia de Requisitos de SoS, a partir de informações obtidas em modelos de PoP. Com isso, é possível alcançar alinhamento entre os níveis técnico e de negócio sob a perspectiva de tolerância a falhas durante a comunicação entre os constituintes, podendo favorecer a competitividade e lucratividade de alianças de organizações.

Palavras-chaves: Sistema-de-Sistemas, Tolerância a Falhas, Processo de Negócio, Tratamento de Exceções, Engenharia de Requisitos.

Abstract

Context: Systems-of-Systems (SoS) refer to a grouping of software systems, called constituent systems, from different organizations with their specific business processes. When such processes are put together to achieve strategic objectives of alliances of organizations (such as partnerships, mergers or acquisitions of companies), they give rise to large, complex and dynamic business processes. These singular processes are usually automated by SoS and are called Processes-of-Business Processes (PoP). From this perspective, to achieve the strategic objectives of the alliances, the constituent systems interoperate among them to obtain behaviors not provided by a single software system. **Problem:** Failures can occur during this interoperability affecting the behavior and reliability of the whole SoS. Despite the importance of fault tolerance requirements for the SoS stability, they are still not widely explored in the literature. Existing works generally consider these requirements only during architectural design, neglecting the importance of requirements management throughout the entire SoS lifecycle and the alignment between technical and business levels. **Objective:** The main objective of this master's work is to define an approach based on scenarios in BPMN (Business Process Model and Notation) notation to systematically extract SoS fault tolerance requirements related to communication problems between constituent systems from useful PoP information. This approach consists of a metamodel based on exception handling elements from BPMN, commonly used to represent communication failures between business processes of alliances of organizations; and a set of automatic guidelines for SoS fault tolerance requirements extraction based on elements from this metamodel. The exception handling elements of this metamodel were identified from abstract scenarios related to exception handling during the message sending and receiving. These scenarios were built based on acquired knowledge from the modeling of five concrete scenarios of real PoP from four distinct domains (i.e., educational, agribusiness, emergency, and hospital health). **Research Method:** The work was developed based on the Design Science Research by producing the following artifacts: two abstract scenarios, a metamodel, and a set of guidelines to extract SoS fault tolerance requirements. **Results:** The work particularly supports the extraction and specification phases of fault tolerance requirements during SoS Requirements Engineering from information obtained in PoP models. Thereby, it is possible to achieve the alignment between the technical and business levels from the perspective of fault tolerance during the communication among the constituent systems, which could contribute to the competitiveness and profitability of alliances of organizations.

Keywords: System-of-Systems, Fault Tolerance, Business Process, Exception Handling, Requirements Engineering.

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Motivação e Justificativa	14
1.3	Questão de Pesquisa e Objetivos	15
1.4	Método de Pesquisa	16
1.5	Organização da Escrita	21
2	Embasamento Teórico	23
2.1	Considerações Iniciais	23
2.2	Sistemas-de-Sistemas	23
2.2.1	Requisitos de Confiabilidade	25
2.2.2	Engenharia de Requisitos	28
2.3	Modelagem de Processos de Negócios	30
2.3.1	Tratamento de Exceções em Modelos de Processos de Negócio	33
2.4	Processos-de-Processos de Negócio (PoP)	37
2.4.1	Modelos do PoP	41
2.4.2	Exemplo de PoP	42
2.4.3	Ferramenta de apoio a modelagem de PoP	46
2.5	Considerações Finais	48
3	Trabalhos Relacionados	49
3.1	Considerações Iniciais	49
3.2	Visão geral dos trabalhos	49
3.3	Tipos de requisitos de confiabilidade	51
3.4	Elicitação e especificação de requisitos de confiabilidade durante o ciclo de vida do SoS	51
3.5	Mecanismos para elicitação de requisitos de confiabilidade de SoS	52
3.6	Técnicas para especificação de requisitos de confiabilidade de SoS	53
3.7	Validação dos requisitos de confiabilidade do SoS e avaliação dos mecanismos de extração	55
3.8	Discussões	55
3.9	Considerações Finais	56
4	Cenários Abstratos de Tratamento de Exceções na Interoperabilidade de PoP	57
4.1	Considerações Iniciais	57
4.2	Cenários Concretos	57

4.2.1	Cenário concreto: PoP Repositório Institucional da UFMS	59
4.3	Elementos BPMN identificados a partir dos cenários concretos	62
4.4	Cenários Abstratos	63
4.4.1	Cenário abstrato de tratamento de exceções durante o envio de requisições	63
4.4.2	Cenário abstrato de tratamento de exceções durante o recebimento de retorno de requisições	65
4.5	Análise dos Cenários Abstratos	69
4.5.1	Planejamento	69
4.5.2	Piloto e Resultados	70
4.5.3	Execução	71
4.5.4	Perfil dos Participantes	71
4.5.5	Resultados	74
4.5.6	Discussões e Refinamento dos Cenários Abstratos e dos Elementos BPMN	75
4.6	Metamodelo estendido do PoP	79
4.7	Considerações Finais	83

5 Extração Sistemática de Requisitos de Tolerância a Falhas de SoS a partir de PoP 85

5.1	Considerações Iniciais	85
5.2	Diretrizes para Extração de Requisitos de Tolerância a Falhas de SoS	85
5.3	Estudo de Caso: Aplicação das Diretrizes em um PoP real	92
5.4	Prova de Conceito: Construção da Ferramenta de Extração de Requisitos de Tolerância a Falhas baseada em PoP	103
5.4.1	Funcionalidades	103
5.4.2	Interface de Usuário	104
5.4.3	Avaliação	105
5.4.4	Discussões	111
5.4.5	Ameaças à Validade	114
5.4.6	Recomendações	114
5.5	Considerações Finais	119

6 Conclusão 121

6.1	Considerações Iniciais	121
6.2	Contribuições	121
6.3	Desafios e Limitações	123
6.4	Perspectivas de Trabalhos Futuros	125

Referências 127

Apêndices	137
APÊNDICE A Planejamento e Condução do Mapeamento Sistemático . . .	139
A.1 Planejamento	139
A.1.1 Ameaças à Validade	142
A.2 Condução	142
APÊNDICE B Strings de Busca Adaptadas	145
APÊNDICE C Cenários Concretos	147
C.1 Cenário concreto: PoP Resgate	147
C.2 Cenário concreto: PoP Educacional-UFMS	149
C.3 Cenário concreto: PoP Bem-estar Animal	150
APÊNDICE D Questionário para Avaliação dos Cenários Abstratos	155
D.1 Apresentação do questionário	155
D.2 Conteúdo do questionário	157
APÊNDICE E Requisitos Extraídos Manualmente e Automaticamente	161
APÊNDICE F Templates no idioma Inglês para Especificação dos Requisitos Extraídos	169
APÊNDICE G Questionário para Avaliação da Ferramenta PoP-FT-RE	171
G.1 Apresentação do questionário	171
G.2 Conteúdo do questionário	172

1 Introdução

1.1 Contextualização

Sistemas-de-Sistemas (do inglês, *Systems-of-Systems* ou SoS) são sistemas computacionais complexos e resultam da necessidade de interoperabilidade entre sistemas de software individuais (denominados sistemas constituintes) para oferecerem recursos e funcionalidades mais amplas (ou seja, missões) que não poderiam ser entregues pelos sistemas constituintes individualmente (DERSIN, 2014). SoS apoiam diferentes ramos do negócio contemporâneo, por exemplo, *e-commerce*, indústria 4.0, saúde 4.0 e agronegócio 4.0; e possuem algumas características peculiares que os diferenciam de outros sistemas complexos, como, comportamento emergente, desenvolvimento evolutivo e independência operacional e gerencial dos seus constituintes (MAIER, 1998). Os sistemas constituintes de um SoS podem pertencer a diferentes organizações que têm seus processos de negócios específicos. Quando esses processos são reunidos para alcançar objetivos estratégicos de alianças de organizações, tais como parcerias, fusões ou aquisições de empresas (KUMAR; SHARMA, 2019), surgem processos de negócios complexos e dinâmicos que normalmente são automatizados por SoS e são denominados Processos-de-Processos de Negócio (do inglês, *Processes-of-Business Processes* ou PoP) por Cagnin e Nakagawa (2021).

O SoS evolui continuamente para responder às mudanças nas missões e, assim, obter comportamentos emergentes normalmente resultantes da comunicação entre os constituintes para alcançar os objetivos estratégicos de negócio das alianças de organizações. No entanto, podem ocorrer falhas nos próprios sistemas constituintes, na comunicação entre eles (FERREIRA; NAKAGAWA; SANTOS, 2021) – por exemplo, atrasos de comunicação, indisponibilidade do serviço e problemas de perda de pacotes de dados (ALEXANDER; HALL-MAY; KELLY, 2004) – ou durante a reorganização da arquitetura dinâmica do SoS quando constituintes são adicionados, alterados ou removidos durante a sua execução (BATISTA, 2013), afetando o funcionamento e a confiabilidade do SoS como um todo (FERREIRA; NAKAGAWA; SANTOS, 2021). As mudanças de constituintes no SoS podem ser decorrentes de alterações na estrutura das alianças em que novas organizações podem se juntar ou deixar de fazer parte a qualquer momento de uma determinada aliança.

Diante deste cenário, é fundamental manter a estabilidade do SoS quando ocorrer algum tipo de falha ou comportamento inesperado (BATISTA, 2013) durante a comunicação entre os seus sistemas constituintes. Portanto, compreender os comportamentos dos sistemas constituintes e as comunicações entre eles, bem como identificar anomalias e interrupções que impactem as operações durante a execução do SoS, é primordial para

estabelecer mecanismos que garantam a sua estabilidade (NCUBE; LIM, 2018). Apesar da importância dos requisitos de confiabilidade para a estabilidade do SoS, como os requisitos de tolerância a falhas, eles ainda não são muito explorados na literatura (BANCHI; SANTOS; FELIZARDO, 2015; CADAVID; ANDRIKOPOULOS; AVGERIOU, 2020; FERREIRA; NAKAGAWA; SANTOS, 2021; FERREIRA et al., 2024).

Sob essa perspectiva, devido as características intrínsecas ao SoS, diversos aspectos podem dificultar a Engenharia de Requisitos (que envolve a extração, análise, especificação, validação e gerenciamento das mudanças de requisitos (DICK ELIZABETH HULL, 2017)), por exemplo, múltiplas interações entre diversos sistemas constituintes que têm necessidades de uso diferentes em razão de suas particularidades; constituintes podem pertencer a diferentes domínios e conter conceitos homônimos com significados divergentes entre os domínios; variação da capacidade do SoS de acordo com situações operacionais específicas do negócio, mesmo num único domínio de negócio; e fatores internos ou externos ao SoS que podem levar a demandas de mudanças rápidas nos constituintes e no próprio SoS (LEWIS et al., 2009). Por conseguinte, é crucial utilizar técnicas e mecanismos apropriados para realizar o gerenciamento de requisitos durante a Engenharia de Requisitos de SoS ao longo do seu ciclo de vida (NCUBE; LIM, 2018).

1.2 Motivação e Justificativa

Os estudos encontrados na literatura tratam geralmente a elicitación e a especificación de requisitos de confiabilidade em fases tardias do ciclo de vida do SoS (ou seja, durante o *design* arquitetural) (PRASAD; MILKS, 2008; DESPOTOU; KELLY, 2009; ANDREWS et al., 2013; GARRO; TUNDIS, 2014; INGRAM et al., 2014; TIANJIAN; XIN, 2014; DAMM; VINCENTELLI, 2015; HACHEM et al., 2016; RAMBIKUR; GIAMMARCO; O'HALLORAN, 2017; BOSSUYT; O'HALLORAN; ARLITT, 2018; HYUN et al., 2020). Os trabalhos existentes dão enfoque na descoberta de requisitos de confiabilidade relacionados principalmente à tolerância a falhas (PRASAD; MILKS, 2008; DESPOTOU; KELLY, 2009; ANDREWS et al., 2013; GARRO; TUNDIS, 2014; INGRAM et al., 2014; TIANJIAN; XIN, 2014; DAMM; VINCENTELLI, 2015; HACHEM et al., 2016; RAMBIKUR; GIAMMARCO; O'HALLORAN, 2017; BOSSUYT; O'HALLORAN; ARLITT, 2018; HYUN et al., 2020; IMAMURA et al., 2021; FERREIRA et al., 2024) e a recuperabilidade (ANDREWS et al., 2013; GARRO; TUNDIS, 2014; INGRAM et al., 2014; HACHEM et al., 2016; IMAMURA et al., 2021).

Quanto às fontes de informação de extração, os requisitos de confiabilidade de SoS são identificados principalmente a partir de falhas que podem ocorrer durante a comunicação entre os sistemas constituintes (TIANJIAN; XIN, 2014; BOSSUYT; O'HALLORAN; ARLITT, 2018; HYUN et al., 2020), dada a importância de garantir a interoperabilidade

entre esses sistemas para alcançar as missões do SoS.

Em paralelo, modelos de processos de negócio têm sido utilizados como fonte de informação para extração de requisitos funcionais (CARDOSO; ALMEIDA; GUIZZARDI, 2009; NOGUEIRA; OLIVEIRA, 2017) e não funcionais (DEMIRORS; GENCEL; TARHAN, 2003; AHMED; MATULEVIČIUS, 2014; MOHAMMADI; HEISEL, 2016) de sistemas únicos devido aos vários benefícios obtidos, como: (i) melhoria da interação entre analistas de negócios, analistas de sistemas 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; SÁNCHEZ; PASTOR, 2008; VARA et al., 2009; AHMED; MATULEVIČIUS, 2014; PRZYBYLEK, 2014); (iii) suporte para a produção de especificações de requisitos mais precisas (INDULSKA et al., 2009b); e (iv) agilidade no processo de Engenharia de Requisitos (TURKMAN; TAWHEEL, 2020) devido ao entendimento do negócio e das regras de negócio envolvidas. Outro estudo (OLIVEIRA et al., 2022) utiliza informação do nível de negócio para auxiliar na fase arquitetural de um Sistemas-de-Sistemas de Informação (do inglês, *System-of-Information Systems* ou SoIS), mais especificamente para apoiar na compreensão de como os modelos de processos de negócios podem refletir links de interoperabilidade de um SoIS.

Em particular, o tratamento de exceções em modelos de processos de negócios é uma fonte de informação valiosa para a compreensão dos comportamentos inesperados e como tratá-los (LERNER et al., 2010). Logo, pode servir para apoiar a descoberta de requisitos de tolerância a falhas no contexto de SoS pois: (i) ajuda as organizações melhorarem a sua capacidade de executar o negócio (LERNER et al., 2010); (ii) garante a estabilidade da execução dos processos de negócio quando ocorrer algum comportamento inesperado (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021); e (iii) auxilia as organizações a se tornarem mais eficientes (CHAVES, 2018).

Entretanto, até onde sabemos, há carência de estudos que extraem sistematicamente requisitos de tolerância a falhas de 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 os desafios da Engenharia de Requisitos de SoS e a importância de identificar adequadamente os requisitos de tolerância a falhas do SoS para manter a sua estabilidade e, ao mesmo tempo, colaborar para alcançar os objetivos estratégicos de negócio das alianças de organizações, foi levantada a seguinte questão de pesquisa: *Como facilitar a extração sistemática de requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir*

de informação relevante do nível de negócio de alianças de organizações para garantir a estabilidade dos sistemas constituintes quando interoperaram entre si?

Para responder à questão de pesquisa supracitada, o objetivo geral deste projeto de mestrado é definir uma abordagem para facilitar a extração sistemática e automática de requisitos de tolerância a falha de SoS a partir de informações relacionadas ao tratamento de exceções durante a comunicação entre processos constituintes que compõem o PoP. Esses requisitos são descobertos a partir de modelos do PoP, com o intuito de possibilitar o alinhamento dos níveis técnico e de negócio.

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

1. Identificar os elementos da notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) (Object Management Group, 2013), adotada para modelar o PoP (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021), que podem ser comumente utilizados para representar o tratamento de exceções na comunicação entre processos de negócio do PoP;
2. Facilitar a extração sistemática de requisitos de tolerância a falhas de SoS em fases recentes do ciclo de vida do SoS a partir de informações do nível de negócio, levando em considerações os elementos BPMN identificados no item anterior; e
3. Garantir que os requisitos de tolerância a falhas extraídos sejam completos e alinhados ao negócio com o intuito de manter a estabilidade do SoS para alcançar os objetivos estratégicos das alianças de organizações.

1.4 Método de Pesquisa

A abordagem metodológica adotada para o desenvolvimento deste trabalho de mestrado é qualitativa e exploratória e baseada na *Design Science Research* (DSR). A metodologia DSR se concentra em resolver um problema prático em um contexto específico por meio artefatos, conseqüentemente, gerando novo conhecimento científico (HEVNER et al., 2004; WIERINGA, 2014). Basicamente, DSR consiste na execução de três ciclos de atividades relacionadas (HEVNER, 2007): (i) Ciclo de Relevância, (ii) Ciclo de *Design* e (iii) Ciclo de Rigor. A Figura 1 ilustra os ciclos do DSR e as respectivas atividades realizadas no âmbito deste mestrado, sendo que os artefatos desenvolvidos ou evoluídos estão destacados em azul.

O **Ciclo de Relevância** envolve a definição do problema a ser abordado, os requisitos da pesquisa e os critérios para avaliar os resultados da pesquisa. Para apoiar a definição do escopo do problema deste trabalho de mestrado, foi conduzido um mapeamento sistemático da literatura para investigar como os requisitos de confiabilidade

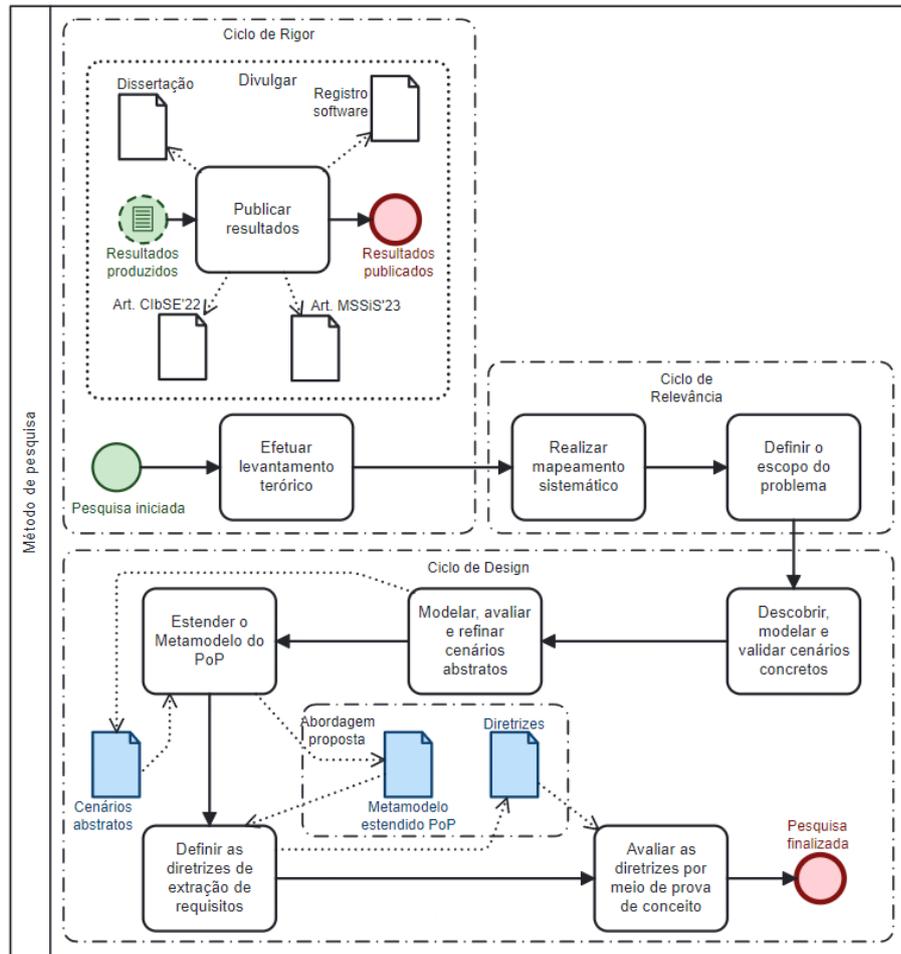


Figura 1 – Ciclos e as respectivas atividades do método de pesquisa

(particularmente, de tolerância a falhas) de SoS têm sido tratados. O problema de pesquisa envolve a dificuldade de garantir a estabilidade do SoS quando ocorrem falhas ou comportamentos inesperados durante a comunicação entre os seus sistemas constituintes, considerando principalmente a independência operacional e gerencial dos constituintes, bem como o comportamento emergente, o dinamismo e o desenvolvimento evolutivo do SoS. Em paralelo, os sistemas constituintes pertencem a organizações distintas, que têm seus objetivos específicos do negócio, e podem fazer parte de alianças de organizações (ou seja, fusões, aquisições e parcerias) que possuem objetivos estratégicos de negócios mais amplos. Diante disso, é fundamental que os requisitos do SoS, inclusive os de confiabilidade, estejam alinhados ao nível de negócio das alianças.

O domínio de aplicação consiste em pessoas, organizações e sistemas de software que interagem para trabalhar em direção a um objetivo (HEVNER; CHATTERJEE, 2010). No contexto deste projeto de mestrado, o domínio da aplicação envolve os diferentes *stakeholder* das organizações que fazem parte de alianças, os *stakeholder* do SoS que automatizam os processos de negócio complexos das alianças, as organizações que formam as alianças e seus sistemas de software que geralmente fazem parte do SoS.

Diante disso, foram delineados os seguintes requisitos para a abordagem proposta: (i) tratar a tolerância a falhas durante a interoperabilidade bidirecional entre processos constituintes tanto intraorganizacional quanto interorganizacional considerando o dinamismo do PoP (ingresso, saída e alteração de processos constituintes no PoP, em tempo de execução); (ii) estender o metamodelo do PoP para obter informações sobre tolerância a falhas de SoS a partir do PoP; e (iii) cobrir a etapa de extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS direcionado (conforme definido na Seção 2.2 do Capítulo 2).

Como critérios para avaliar os resultados da pesquisa foram elencados os seguintes: (i) a abordagem proposta deve extrair os requisitos de interesse considerando um conjunto de elementos BPMN comumente utilizado para representar o tratamento de exceções (ou seja, falhas) que ocorre durante a comunicação entre processos constituintes do PoP que são automatizados por SoS; e (ii) a abordagem deve possibilitar a extração sistemática de requisitos de tolerância a falhas do SoS completos e alinhados com o nível de processos de negócio. Em particular, a especificação dos requisitos extraídos deve atender os critérios completude e rastreabilidade (IEEE, 1998). No contexto deste trabalho, completude indica que a especificação contém os requisitos importantes de tolerância a falhas do SoS para garantir a interoperabilidade entre os seus constituintes e manter a sua estabilidade, enquanto a rastreabilidade significa que a origem de cada requisito de confiabilidade descrito na especificação está clara e evidencia o alinhamento entre os níveis de negócio e técnico.

O **Ciclo de Design** está relacionado com a construção e avaliação dos artefatos que foram desenvolvidos ao longo deste trabalho de mestrado. Neste trabalho, foram desenvolvidos dois artefatos e evoluído um (retângulos na cor azul claro apresentados na Figura 2): (i) desenvolvimento dos *cenários abstratos de tratamento de exceção durante a interoperabilidade de PoP*, (ii) extensão do *metamodelo do PoP* e (iii) definição de *diretrizes de extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS*. Em particular, os cenários abstratos foram construídos para fundamentar a extensão do metamodelo do PoP, que juntamente com as diretrizes de extração, compõem a abordagem proposta neste trabalho.

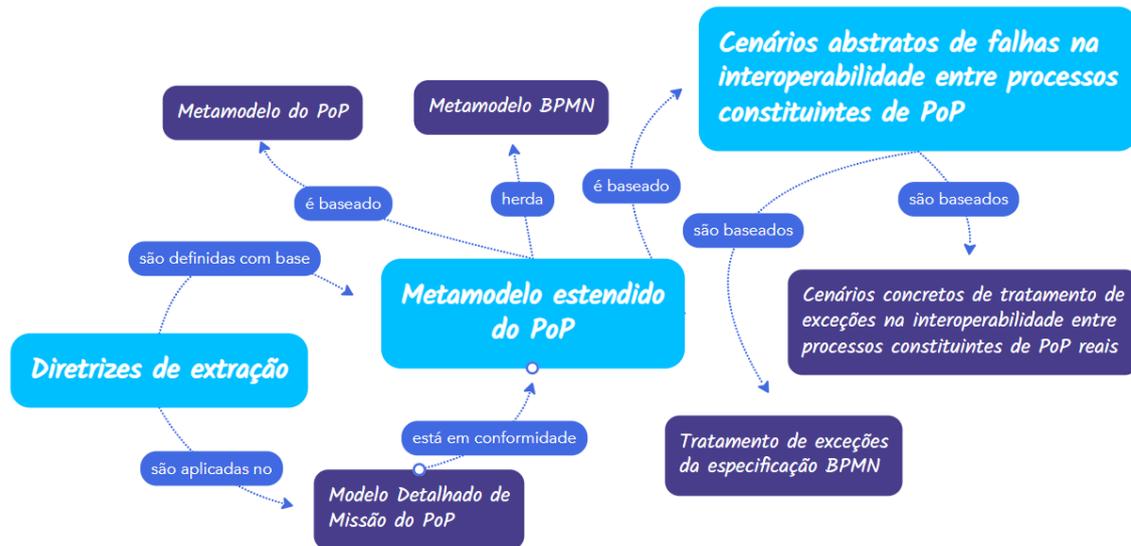


Figura 2 – Artefatos construídos e evoluídos, e fontes de informação utilizadas

Para subsidiar o desenvolvimento dos *cenários abstratos*, foram elaborados os cenários concretos. O primeiro cenário concreto foi abstraído a partir de um estudo de caso (ANDREWS et al., 2013) no contexto de resgate (emergência). O segundo cenário concreto foi desenvolvido e avaliada com base nas informações coletadas por meio de uma reunião realizada com um dos analistas de suporte de uma empresa privada na área de saúde suplementar do Brasil.

O terceiro, o quarto e o quinto cenários concretos foram desenvolvidos e avaliados com base em informações coletadas por meio de entrevistas realizadas com o diretor do setor de Tecnologia da Informação (TI) da Embrapa Grado de Corte e com analistas de Tecnologia da Informação (TI) da Agência de Tecnologia da Informação e Comunicação (Agetic) da UFMS. Em seguida, a partir dos cenários concretos, foram identificados os cenários abstratos, que representam as possíveis falhas identificadas no envio e no retorno de mensagens no contexto de PoP.

Foi conduzida a análise dos cenários abstratos por especialistas em BPMN. A análise foi baseada em um questionário, em que foram fornecidas descrições dos cenários de tratamento de exceções na comunicação entre processos constituintes de PoP, considerados na pesquisa, para que os especialistas analisassem a adequação dos elementos BPMN utilizados na representação de tais cenários.

Os cenários abstratos foram refinados considerando os feedbacks dos especialistas. Posteriormente, o *metamodelo estendido do PoP* foi obtido com base no metamodelo originalmente definido por Cagnin e Nakagawa (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021), que abrange um conjunto diversificado de elementos e conceitos relacionados ao PoP, e com base nos elementos BPMN de tratamento de exceções presentes nos cenários abstratos aprimorados. 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.

O artefato *diretrizes de extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS* foi definido no *Ciclo de Design* com base em elementos do metamodelo estendido do PoP. Essas diretrizes têm como objetivo extrair requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de elementos BPMN para o tratamento de exceções presentes nos cenários abstratos.

As diretrizes definem templates para a especificação adequada de requisitos de tolerância a falhas e percorrem elementos do metamodelo estendido do PoP, especialmente aqueles relacionamentos ao tratamento de exceções, para obter informações relevantes sobre requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir do PoP. Salienta-se que o modelo do PoP deve estar em conformidade com os cenários abstratos definidos e, conseqüentemente, com os elementos do metamodelo estendido para que os requisitos de tolerância a falhas sejam extraídos adequadamente a partir da aplicação das diretrizes definidas.

A avaliação das diretrizes de extração foi baseada em uma prova de conceito no *Ciclo de Design*. Para isso, foi desenvolvida uma ferramenta denominada PoP-FT-RE (do inglês, *PoP based Fault Tolerance Requirements Extraction*) que: (i) extrai automaticamente os requisitos de tolerância a falhas a partir de um modelo que representa cada missão de um determinado PoP. Esse modelo é elaborado em uma ferramenta denominada *PoP Modeler* desenvolvida no âmbito de um projeto de iniciação científica (MATTIA, 2021) e de um Trabalho de Conclusão de Curso (FRANCO; MATTIA, 2022b); e (ii) apresenta os requisitos extraídos em formato textual em consonância com a sintaxe de especificação de requisitos da ISO/IEC 29148 (2018). Para avaliar as diretrizes definidas e observar a utilidade e viabilidade de uso da ferramenta construída, as especificações de requisitos de tolerância a falhas extraídos a partir de um PoP real foram analisadas por analistas de sistemas na área de SoS quanto a sua utilidade e legibilidade. Os requisitos extraídos pela ferramenta foram avaliados também considerando a completude (IEEE, 1998) e o alinhamento com o nível de negócio.

Por fim, o **Ciclo de Rigor** se refere ao uso e geração de conhecimento. O rigor é alcançado usando adequadamente fundamentos e metodologias de uma base de conhecimento que fundamenta a pesquisa e agrega o conhecimento gerado pelo estudo para contribuir com o crescimento dessa base de conhecimento (HEVNER, 2007). Os principais fundamentos utilizados neste trabalho estão descritos no Capítulo 2 e são relacionados a SoS, requisitos de confiabilidade (inclusive de tolerância a falhas) de SoS, Engenharia de Requisitos de SoS, modelagem de processos de negócio com enfoque no tratamento de exceções e PoP. A partir dos resultados obtidos neste trabalho, acredita-se que será possível avançar o estado da arte em relação a extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS, particularmente aqueles relacionados a comunicação entre sistemas constituintes, a partir de informações úteis obtidas de modelos que representam os processos de negócios das alianças de organizações (ou seja, PoP). Até o momento foram publicados um

artigo do mapeamento sistemático conduzido (MOLINA; PAIVA; CAGNIN, 2022), um artigo dos cenários abstratos e respectiva avaliação com especialistas (MOLINA et al., 2023) e o registro de software da ferramenta desenvolvida junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) (CAGNIN; COSTA; MOLINA, 2024).

A Figura 3 apresenta a estrutura conceitual da *Design Science Research*, sintetizando as relações entre os seus ciclos. Essa figura foi elaborada por Hevner e Chatterjee (2010) e adaptada para o contexto deste trabalho de mestrado. A metodologia DSR e sua estrutura conceitual é útil para apoiar o planejamento e a estruturação da pesquisa; bem como para evidenciar a correlação entre o desenvolvimento tecnológico aplicado e o conhecimento teórico-científico (HEVNER, 2007; HEVNER; CHATTERJEE, 2010).

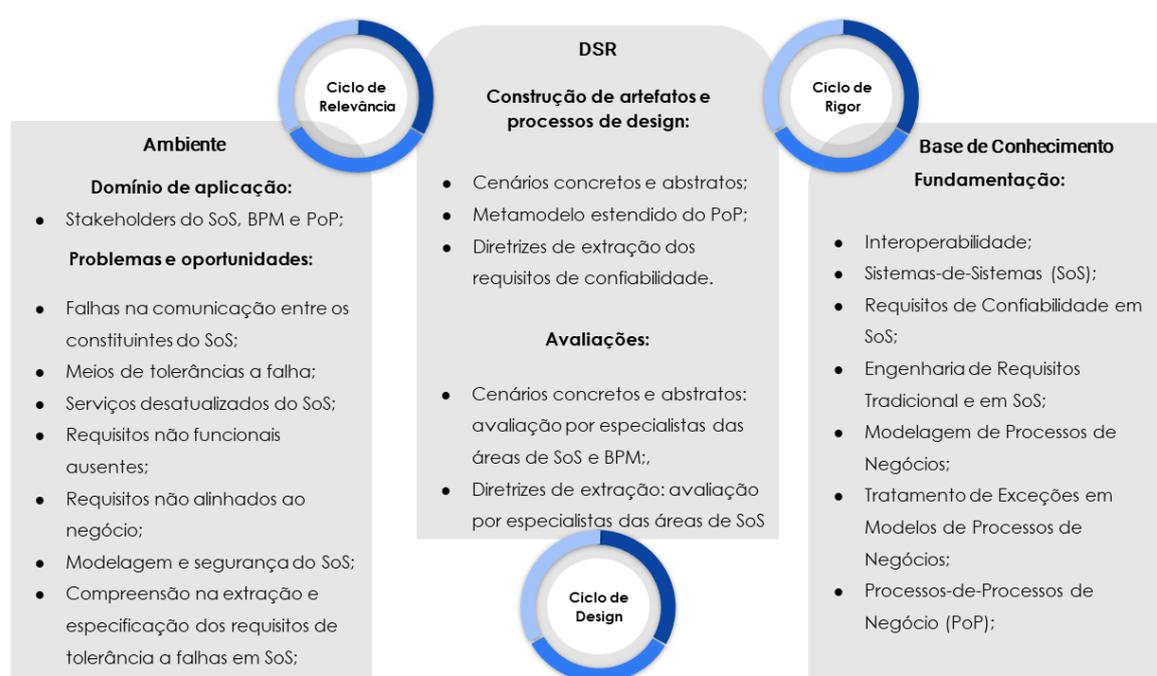


Figura 3 – Estrutura conceitual da *Design Science Research* instanciada para o trabalho proposto (adaptada de Hevner e Chatterjee (2010))

1.5 Organização da Escrita

A estrutura do texto desta dissertação está organizada em mais cinco capítulos. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico para facilitar o entendimento e o desenvolvimento deste trabalho de mestrado. O Capítulo 3 discute os principais trabalhos relacionados encontrados na literatura por meio de um mapeamento sistemático da literatura (MSL). O Capítulo 4 apresenta os cenários concretos e abstratos desenvolvidos no contexto de tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP. Nesse capítulo também é apresentada a avaliação dos cenários abstratos e a extensão do metamodelo do PoP com a incorporação dos elementos BPMN de tratamento de exceção comumente presentes nesses cenários. O Capítulo 5 apresenta as diretrizes de extração sistemática de

requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de elementos BPMN de tratamento de exceção durante a interoperabilidade de PoP incorporados ao metamodelo estendido do PoP. A avaliação das diretrizes de extração é feita por meio de uma prova de conceito com a construção de uma ferramenta para automatizá-las. Por fim, o Capítulo 6 discute as contribuições deste trabalho de mestrado, os desafios enfrentados, as principais limitações observadas, bem como perspectivas de trabalhos futuros.

2 Embasamento Teórico

2.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo são apresentados diversos conceitos e definições importantes para a compreensão deste trabalho de mestrado. A Seção 2.2 aborda conceitos e características de Sistemas-de-Sistemas (SoS). A Seção 2.2.1 apresenta requisitos de confiabilidade (inclusive de tolerância a falhas que é de interesse deste trabalho) no contexto de SoS e situações que podem afetá-la. A Seção 2.2.2 descreve sobre a Engenharia de Requisitos e os desafios inerentes ao longo do ciclo de vida do SoS. A Seção 2.3 discorre sobre modelagem de processos de negócios, bem como a importância e os desafios dessa atividade no contexto de processos de negócio complexos e dinâmicos de alianças de organizações. Na Seção 2.3.1 são discutidas formas de tratamento de exceções para representar e mitigar falhas em modelos de processos de negócio. Por fim, a Seção 2.4 descreve os conceitos e as características de Processos-de-Processos de Negócio (PoP), que os diferenciam de processos de negócio tradicionais. Essa última seção também relata os tipos de modelos para a representação de PoP, exemplifica um PoP real e apresenta uma ferramenta que apoia a modelagem de PoP. A Seção 2.5 descreve as considerações finais deste capítulo.

2.2 Sistemas-de-Sistemas

SoS são sistemas complexos e heterogêneos que se referem a um agrupamento de sistemas de software de diversas organizações, as quais formam alianças de organizações. Esses sistemas são chamados sistemas constituintes e trabalham em conjunto, obtendo comportamentos emergentes, para alcançar objetivos estratégicos de negócio mais complexos (ou missões do SoS¹), que não podem ser concretizados por um único sistema de software (MAIER, 1998). SoS estão cada vez mais presentes no nosso dia a dia, apoiando diversos setores críticos da sociedade (como saúde, transporte, cidades inteligentes, indústria 4.0 e agricultura 4.0), e possuem cinco características que os distinguem de outros sistemas complexos (MAIER, 1998):

- *independência operacional*: os sistemas constituintes operam de maneira independente do SoS e possuem suas funcionalidades e recursos específicos;
- *independência gerencial*: os sistemas constituintes são gerenciados de acordo com objetivos próprios e evoluem independentemente do SoS;

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

- *distribuição*: os sistemas constituintes não operam necessariamente em um mesmo ambiente, podendo estar distribuídos geograficamente ou virtualmente, trocando informações entre eles;
- *desenvolvimento evolucionário*: o ciclo de desenvolvimento do SoS e dos sistemas constituintes pode ocorrer de maneira independente e contínua. Diante disso, os sistemas constituintes podem evoluir a qualquer momento, resultando na evolução do próprio SoS; por outro lado, SoS também evolui devido a mudanças em seu ambiente e, por isso, possui arquitetura dinâmica que causa um novo arranjo de seus constituintes; e
- *comportamento emergente*: novos comportamentos do SoS que surgem por meio da sinergia e interação entre os sistemas constituintes para alcançar as missões do SoS.

Além das características mencionadas anteriormente, os constituintes de um SoS podem abranger características específicas de Sistemas de Informação (SI). Esses constituintes estabelecem cooperação entre si para obter diversos benefícios, como novas funcionalidades, tecnologias e oportunidades de negócios. Quando essa cooperação ocorre, pode-se classificar o SoS como um SoIS (GRACIANO-NETO et al., 2018). Em suma, um SoIS é um tipo específico de SoS no qual o conjunto de sistemas constituintes inclui sistemas de informação que interoperam com outros constituintes para alcançar objetivos de negócio mais amplos (GRACIANO-NETO et al., 2021). Logo, enquanto SoS se preocupa principalmente com um artefato técnico (por exemplo, software), SoIS se preocupa com outros elementos de SI, como processos, tecnologias e pessoas necessários para alcançar a interoperabilidade entre SI (MAIER, 1998; GONÇALVES et al., 2014; GRACIANO-NETO et al., 2018; GUESSI; GRACIANO-NETO; NAKAGAWA, 2019).

Outra característica intrínseca ao SoS é o seu dinamismo, pois os sistemas constituintes podem, a qualquer momento, se juntar ou deixar de fazer parte do SoS em tempo de execução (MAIER, 1998). Para isso, é primordial que a estrutura do SoS mude dinamicamente e garanta confiabilidade quando ocorrerem falhas ou comportamentos inesperados dos constituintes, ou quando comportamentos não previstos surgirem durante a operação do SoS (BALDWIN; SAUSER, 2009; NIELSEN et al., 2015). SoS também foram classificados quanto à coordenação e existência ou não de um controle central (MAIER, 1998; DAHMANN, 2009). Logo, o SoS pode ser: dirigido, colaborativo, reconhecido e virtual, conforme apresentado na Figura 4.

No *SoS dirigido*, há uma entidade central, que pode ser uma entidade de software ou uma entidade organizacional. Essa entidade central estabelece uma comunicação unilateral com os constituintes, conduzindo ou orquestrando a forma (sequência de tarefas e atribuições) como eles vão trabalhar para cumprir as missões do SoS. Os constituintes operam subordinados à uma entidade central gerenciada (PÉREZ, 2013). No *SoS reco-*

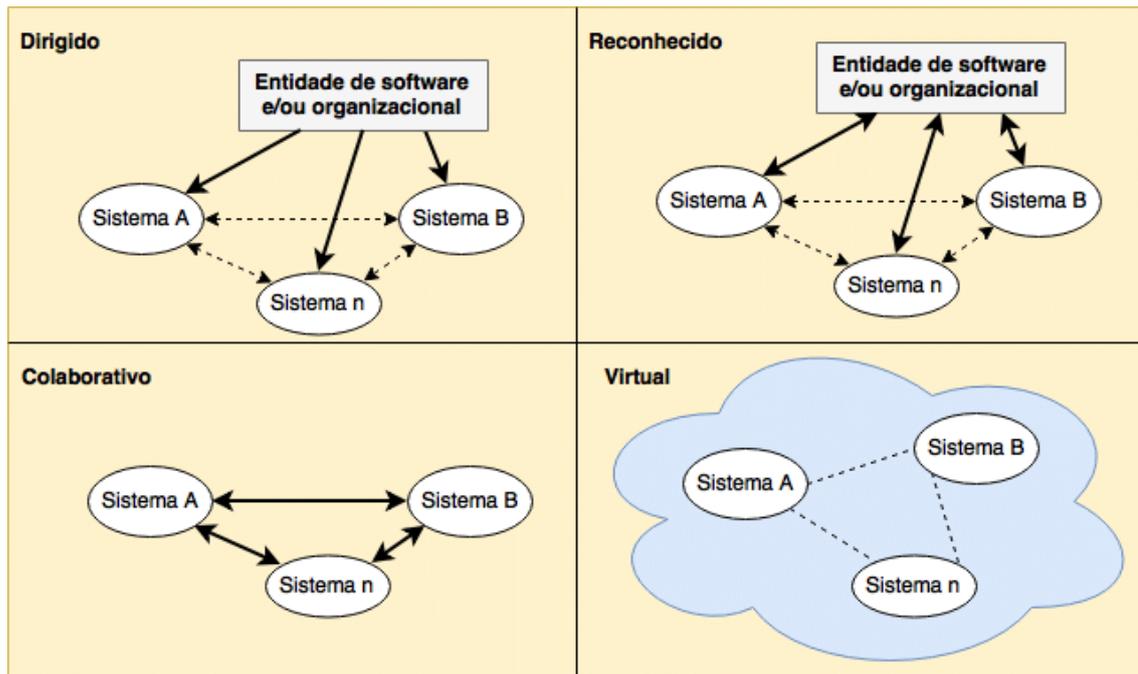


Figura 4 – Classificações dos tipos de SoS (GRACIANO-NETO; SANTOS; ARAUJO, 2017)

nhecido, há uma entidade central que estabelece uma comunicação bidirecional com os sistemas constituintes. Esses sistemas consultam a entidade central para descobrir outros constituintes e serviços disponíveis para alcançar as missões do SoS. Os *SoS colaborativos* são distintos dos SoS direcionados, pois os constituintes não são forçados a seguir uma entidade central, mas colaboram voluntariamente entre eles para alcançar as missões do SoS. Por fim, o *SoS virtual* também não possuem uma autoridade central; porém, suas missões não são claras. Consequentemente, os comportamentos do SoS são altamente emergentes e é difícil distinguir os seus sistemas constituintes.

O SoS evolui continuamente para responder às mudanças das missões e, assim, obter comportamentos emergentes resultantes da comunicação entre os constituintes para alcançar os objetivos estratégicos de negócio das alianças de organizações. Devido ao dinamismo do SoS, os constituintes podem ser adicionados, alterados ou removidos durante a sua execução (BATISTA, 2013), podendo afetar o funcionamento e a confiabilidade do SoS como um todo (FERREIRA; NAKAGAWA; SANTOS, 2021). Nesse contexto, os requisitos de confiabilidade precisam ser investigados, para garantir o bom funcionamento do SoS e, assim, alcançar as suas missões.

2.2.1 Requisitos de Confiabilidade

Requisitos de confiabilidade estão relacionados às restrições sobre o comportamento do sistema de software em tempo de execução e também podem ser entendidos como a capacidade de um sistema operar sem falhas (CAVALCANTE et al., 2016), por um período específico em determinadas condições (ISO/IEC 25010, 2011; CAVALCANTE

et al., 2016).

Conforme a norma [ISO/IEC 25010 \(2011\)](#), confiabilidade é uma das características de qualidade de software e abrange as seguintes sub características ([ISO/IEC 25010, 2011](#)): (i) *tolerância a falhas*: grau em que um sistema opera conforme planejado, apesar da presença de falhas de hardware ou software. Devido aos comportamentos emergentes de um SoS, resultantes das interações entre seus constituintes, existe a possibilidade de ocorrerem falhas ([HYUN et al., 2020](#)) os quais são consideradas excepcionais em sistemas monolíticos tradicionais ([ANDREWS et al., 2013](#)). De maneira complementar, dependendo de como os elementos do SoS colaboram, falhas podem ser propagadas em diferentes elementos do sistema ([DESPOTOU; KELLY, 2009](#)); (ii) *recuperabilidade*: grau em que, em caso de interrupção ou falha, um sistema pode se recuperar e retornar a um estado pretendido. No contexto de SoS, é a capacidade de recuperar dados do SoS diretamente afetados após uma falha (por exemplo, durante a interoperabilidade entre os constituintes) e permite restabelecer o SoS a um estado desejado; porém, nem sempre é claro entender o processo de recuperação dos sistemas constituintes de um SoS ([ANDREWS et al., 2013](#)), pois em alguns casos o sistema constituinte deixa de fazer parte do SoS; (iii) *disponibilidade*: grau em que um sistema está operacional e acessível quando for utilizado. No contexto de SoS, como os constituintes podem ser inseridos, alterados ou removidos em tempo de execução, é primordial garantir que os constituintes essenciais para o funcionamento do SoS estejam disponíveis no momento adequado para o cumprimento de uma determinada missão; (iv) *maturidade*: grau em que um sistema atende às necessidades de confiabilidade sob operação normal. Sob a perspectiva de SoS, é necessário garantir a sua estabilidade durante o seu uso pelos diferentes *stakeholders*. Para isso, é primordial assegurar a reconfiguração do SoS, devido à sua natureza dinâmica ([GARRO; TUNDIS, 2014](#)) dado que os constituintes podem ser atualizados a qualquer momento em tempo de execução do SoS.

[Ferreira, Nakagawa e Santos \(2021\)](#) identificaram cinco grupos de fatores que podem afetar a confiabilidade de um SoS, sendo eles: (i) *falhas nos sistemas constituintes*: um dos principais fatores que podem comprometer o SoS é o mau funcionamento dos sistemas constituintes, além da sobrecarga que pode ocorrer nesses sistemas (por exemplo, devido a várias requisições simultâneas) e de ações maliciosas (por exemplo, invasão de um constituinte com privilégios de administrador podendo causar uma série de violações contra a base de dados do sistema e ataques causados devido aos recursos compartilhados entre os sistemas constituintes) ([OLIVERO et al., 2022](#)); (ii) *problemas relacionados a comunicação*: podem estar relacionados a atrasos na comunicação e a perda de pacotes de dados entre os constituintes; (iii) *falhas ou erros humanos*: humanos estão sujeitos a estresse, fadiga ou sobrecarga e podem não ter habilidades suficientes para determinadas tarefas durante a execução do SoS; (iv) *evolução dos sistemas constituintes*: os constituintes evoluem conforme os seus próprios objetivos e requisitos; porém, as mudanças podem afetar diretamente os serviços que o SoS necessita; como consequência, podem

surgir conflitos de interesse entre o SoS e os seus constituintes; (v) *erros durante o projeto ou o desenvolvimento*: erros ou falta de comunicação sobre como os constituintes foram desenvolvidos são fatores que afetam diretamente a confiabilidade do SoS, pois o desenvolvimento dos constituintes são realizados por equipes diferentes e, geralmente, a documentação não é compartilhada entre os participantes do SoS. Ademais, quando a documentação está disponível, ela é frequentemente escrita em linguagem natural, o que pode resultar em uma documentação com ambiguidades e com dependência de contexto. Além disso, os constituintes também não conhecem todas as interdependências existentes entre eles.

Complementarmente, o trabalho de [Fernandes et al. \(2022\)](#) investigou outros fatores técnicos que influenciam a interoperabilidade em Sistemas de Informação Pervasivos (do inglês “*Pervasive Information Systems*” ou PIS) e em SoIS, que podem impactar a confiabilidade, sendo eles: (i) *estabelecimento de infraestrutura e conectividade*: que inclui a criação de plataformas e sistemas, conectividade física, conectores de rede e protocolos de comunicação, sendo que a interface usada é um aspecto importante para a conectividade dos constituintes. Ambientes operacionais comumente utilizados podem influenciar a interoperabilidade uma vez que podem facilitar a troca automatizada de dados entre plataformas heterogêneas. Portanto, o estabelecimento de infraestrutura e conectividade influenciam a interoperabilidade ao tratar a camada de interconectividade dos sistemas por meio de interfaces que possibilitam o uso de serviços; (ii) *fornecimento de informação técnica de elementos de tecnologia da informação*: que abrange informação de metadados (formatos de dados estrutural, sintático e semântico) que facilita a integração de informações em torno da heterogeneidade de modelos de dados. No entanto, para que esses dados sejam fornecidos precisamente, é necessário considerar procedimentos ou funções técnicas; e (iii) *necessidade de definir uma arquitetura dinâmica*: pode influenciar na interoperabilidade dada a necessidade de um *design* de SI fracamente acoplado. Se por um lado, o uso de ambientes ou interfaces comuns favorece a estabilidade desejada no contexto de interoperabilidade, por outro lado é necessário atentar para que, dependendo das características de um SI que pertence ao SoIS, o uso desses ambientes ou interfaces comuns pode causar problemas.

[Ferreira, Nakagawa e Santos \(2023\)](#) buscaram avançar no entendimento da confiabilidade do SoS, apresentando um modelo conceitual que inclui 29 conceitos, suas definições e relações. Esse modelo conceitual foi evoluído a partir dos resultados da avaliação conduzida por 36 profissionais e pesquisadores da área (ou seja, SoS, arquitetura de software, engenharia de confiabilidade e tecnologia da informação). O modelo conceitual definido não só ajuda na compreensão da confiabilidade do SoS, mas também amplia o corpo de conhecimento na área e abre diversas oportunidades para futuras investigações com o intuito de garantir a confiabilidade do SoS.

Em um trabalho subsequente de [Ferreira et al. \(2024\)](#), foi proposto um *framework* denominado **ReViTA** (*Reconfigurations Via Transient Architectural Configurations*), que auxilia profissionais no projeto de SoS com tolerância a falhas, permitindo que continuem a desempenhar suas funções mesmo na presença de eventos que impactem a capacidade de um SoS cumprir sua missão, por exemplo, perda de desempenho, perda de capacidade devido a ausência de constituintes ou indisponibilidade do SoS. Além disso, o ReViTA facilita uma compreensão abrangente dos conflitos e fraquezas nos sistemas constituintes, promove a colaboração entre especialistas do domínio e tomadores de decisão, melhora a comunicação com as partes interessadas e aumenta a eficiência na utilização de recursos.

No entanto, apesar da importância dos requisitos de confiabilidade para garantir o funcionamento e a estabilidade do SoS para que as alianças de organizações atinjam seus objetivos e entreguem produtos e serviços com maior valor agregado a seus clientes, eles ainda não são muito explorados na literatura ([BIANCHI; SANTOS; FELIZARDO, 2015](#); [CADAVID; ANDRIKOPOULOS; AVGERIOU, 2020](#); [FERREIRA; NAKAGAWA; SANTOS, 2021](#); [FERREIRA; NAKAGAWA; SANTOS, 2023](#)). Em particular, é primordial garantir a confiabilidade de SoS principalmente ao realizar missões críticas que envolvem riscos de perdas financeiras ou humanas ([IMAMURA et al., 2021](#)). Nesse contexto, o grande desafio é identificar adequadamente os requisitos de confiabilidade de SoS durante a Engenharia de Requisitos (Seção 2.2.2). Além disso, é fundamental gerenciar os requisitos de confiabilidade de maneira apropriada durante todo o ciclo de vida do SoS, principalmente devido à sua característica evolutiva em que tanto os constituintes quanto o próprio SoS podem evoluir a qualquer momento, culminando em uma nova organização arquitetural do SoS.

2.2.2 Engenharia de Requisitos

Os sistemas constituintes de um SoS são comumente controlados por diferentes organizações ou podem estar geograficamente distribuídos numa mesma organização ([MAIER, 1998](#)). Um SoS pode ter vários constituintes, cada um com seu próprio ciclo de vida. A maioria dos SoS não possui um único ciclo de vida sequencial que sincroniza todos os ciclos de vida de seus sistemas constituintes ([LEWIS et al., 2008](#)). Isso apresenta um grande desafio do ponto de vista da Engenharia de Requisitos, pois alguns sistemas constituintes podem estar em um ponto inicial de seu desenvolvimento e ter requisitos altamente instáveis, enquanto outros sistemas constituintes podem ter requisitos altamente estáveis; porém, próximos de serem descontinuados e, portanto, representar um ponto de volatilidade futura ([LEWIS et al., 2009](#)).

Nesse contexto, a Engenharia de Requisitos de SoS deve ser realizada por meio da colaboração de vários *stakeholders* durante o desenvolvimento evolucionário do SoS para que seu ciclo de vida seja perene ([LEWIS et al., 2009](#)). [Andrews et al. \(2013\)](#) e [Ncube](#)

e Lim (2018), relataram que há diversos desafios na Engenharia de Requisitos de SoS, pois muitos sistemas constituintes foram desenvolvidos de forma única, não pensando na possibilidade de que poderiam interoperar de maneira dinâmica com outros constituintes e pertencer a um SoS.

Devido às peculiaridades do SoS, diversos aspectos podem dificultar a Engenharia de Requisitos (que envolve a extração, análise, especificação, validação e gerenciamento das mudanças de requisitos (DICK ELIZABETH HULL, 2017)), por exemplo, múltiplas interações entre diversos sistemas constituintes que têm necessidades de uso diferentes devido às suas particularidades; constituintes podem pertencer a diferentes domínios e contém conceitos homônimos com significados divergentes entre os domínios (FERNANDES; GRACIANO-NETO; SANTOS, 2018); capacidade do SoS pode variar de acordo com situações operacionais específicas do negócio, mesmo num único domínio de negócio (FERNANDES; GRACIANO-NETO; SANTOS, 2018); e fatores internos ou externos podem influenciar na interoperabilidade do SoS, podendo levar a demandas de mudanças rápidas nos constituintes e no próprio SoS (LEWIS et al., 2009; FERNANDES; GRACIANO-NETO; SANTOS, 2018). Essas peculiaridades, que dificultam a Engenharia de Requisitos de SoS, podem impactar diretamente no alcance das missões de um SoS, ou até mesmo de um SoIS, e afetar os objetivos estratégicos de negócios das alianças de organizações.

De acordo com Lewis et al. (2009), os requisitos do SoS podem ser identificados por meio de duas abordagens, *top-down* e *bottom-up*. A primeira abordagem extrai propriedades e requisitos do SoS, inclusive identifica as missões e os constituintes, realiza o entendimento do tipo do SoS (ou seja, dirigido, reconhecido, colaborativo e virtual) e dos ambientes associados a ele. Por sua vez, a segunda abordagem, abrange o entendimento das capacidades fornecidas por cada constituinte e de suas restrições internas ou externas. Os autores apontam que as capacidades de um SoS podem não ser entendidas de maneira adequada sem a compreensão apropriada das capacidades fornecidas pelos sistemas constituintes. As atividades da abordagem *top-down* podem ser realizadas em paralelo às atividades da abordagem *bottom-up* e devem fornecer informação útil para o entendimento do SoS (LEWIS et al., 2009). Com isso, as saídas obtidas em ambas abordagens ajudam a identificar as capacidades não fornecidas pelos sistemas constituintes existentes e também aquelas capacidades que precisam ser modificadas para apoiar efetivamente as missões do SoS (LEWIS et al., 2009). A Tabela 1 apresenta a diferença entre a Engenharia de Requisitos tradicional e a Engenharia de Requisitos de SoS.

A partir dos diversos desafios supracitados, Neube e Lim (2018) afirmam que os processos, métodos e técnicas existentes de Engenharia de Requisitos não são adequados para lidar com a natureza dinâmica do SoS e de seus requisitos, sendo, portanto, necessário adequá-los para realizar o gerenciamento de requisitos durante todo o ciclo de vida do

Tabela 1 – Engenharia de Requisitos Tradicional versus Engenharia de Requisitos de SoS (LEWIS et al., 2009)

Engenharia de Requisitos Tradicional	Engenharia de Requisitos de SoS
É realizada de forma única para cada constituinte, não pensando na possibilidade de um constituinte interoperar de maneira dinâmica com outros constituintes, além dos constituintes, possuem seus próprios ciclos de vida	Deve ser realizada por meio da colaboração de vários <i>stakeholders</i> durante o desenvolvimento evolucionário e o gerenciamento dos requisitos é feito durante todo o ciclo de vida do SoS.

SoS. Em particular, a extração de requisitos, inclusive os de tolerância a falhas que é de interesse deste trabalho de mestrado, pode ser realizada a partir de modelos de processos de negócios produzidos durante a atividade de modelagem do Gerenciamento de Processo de Negócio (conforme descrito na Seção 2.3). Essa prática traz diversos benefícios, como melhoria da interação entre analistas de sistemas, analistas de processos e usuários finais (VARA et al., 2009); e alinhamento entre os requisitos e as necessidades reais do negócio (AHMED; MATULEVIČIUS, 2014; PRZYBYLEK, 2014; CRUZ; MACHADO; SANTOS, 2015).

2.3 Modelagem de Processos de Negócios

A *Association of Business Process Management* (ABPM) define Gerenciamento de Processo de Negócio (*Business Process Management* – BPM) como uma disciplina gerencial, com foco em gestão de processos organizacionais, em busca de melhoria contínua (ABPMP, 2021). Para isso, BPM oferece um conjunto de princípios, métodos e ferramentas para modelar, analisar, melhorar, executar e monitorar processos de negócio das organizações (DUMAS et al., 2018), de modo a atingir resultados plausíveis e em conformidade as metas estratégicas das mesmas (ABPMP, 2021).

BPM envolve a supervisão de como o trabalho é realizado em uma organização para garantir resultados consistentes e aproveitar as oportunidades de melhoria no negócio, que podem ser pontuais ou contínuas, dependendo dos objetivos da organização (DUMAS et al., 2013). Exemplos típicos de melhoria incluem reduzir custos, redução de tempo de execução e redução de taxas de erros no processo de negócio de uma organização. BPM agrega valor à organização ao gerenciar apropriadamente seus processos de negócio (DUMAS et al., 2013). Além desses, outros benefícios podem ser obtidos pelas organizações ao adotarem BPM, como: (i) aumentar a flexibilidade das organizações para atender mudanças internas ou externas no ambiente de negócio (ROSING et al., 2015); (ii) aumentar a confiabilidade na entrega de produtos ou serviços (ROSING et al., 2015); (iii) ajudar na garantia da qualidade de produtos e serviços (ROSING et al., 2015); (iv) fornecer uma forma padronizada para que todos compreendam os objetivos de negócios das organizações (GARRO et al., 2018); (v) permitir que os interessados analisem e entendam

o fluxo de trabalho do negócio (BANDARA; GABLE; ROSEMAN, 2005; JONCHEERE et al., 2014); (vi) apoia a otimização do negócio e o aumento da produtividade dos envolvidos, mitigando os riscos e reduzindo os custos (BANDARA; GABLE; ROSEMAN, 2005; JONCHEERE et al., 2014); (vii) possibilitar a renovação de processos e a difusão da cultura do negócio das organizações (ROWELL, 2018); e (viii) aprimorar a comunicação sobre os processos de negócios entre diferentes grupos de interessados (INDULSKA et al., 2009a).

Um processo de negócio contém diversos elementos, como eventos (que disparam a execução de uma ou mais atividades), atividades (tarefas atômicas ou subprocessos), pontos de decisão, atores, recursos e saídas que trazem valor para as organizações (DUMAS et al., 2018). A modelagem de processos de negócios é a primeira dentre as cinco atividades-chave do BPM (ou seja, modelar, analisar, melhorar, executar e monitorar) e desempenha um papel central ao sistematizar a criação de modelos de processos de negócios a partir de diferentes perspectivas (AALST, 2013).

Os modelos de processos de negócios são artefatos que representam o negócio das organizações (AALST, 2013; DUMAS et al., 2018) sendo considerados elementos centrais em todo o ciclo de vida do processo de negócio (AALST, 2013; WESKE, 2019), ao ser a base para a execução das demais atividades do BPM. De maneira geral, esses modelos descrevem atores, atividades, eventos, objetos de dados e lógica de fluxo de controle que compõem um processo de negócio (INDULSKA et al., 2009b; AALST, 2013; DUMAS et al., 2018).

Várias notações podem ser utilizadas para representar modelos de processos de negócio, dentre elas a BPMN que é amplamente utilizada tanto no meio acadêmico como na indústria (CHINOSI; TROMBETTA, 2012). A BPMN fornece uma notação intuitiva que favorece o entendimento do negócio por analistas de negócio e de processos, engenheiros de software, clientes e usuários, além de conseguir representar a semântica de processos complexos (ROSING et al., 2015) e reduzir possíveis ambiguidades que causariam efeitos colaterais futuros no desenvolvimento de um sistema de software (SANTOS; GRACIANO-NETO; NAKAGAWA, 2020). De acordo com Lerner et al. (2010), os principais elementos de BPMN comumente utilizados durante a modelagem de processos de negócios são: atividades, eventos e desvios (*gateways*), os quais estão descritos a seguir.

Atividade: é representada visualmente como um retângulo arredondado (Figura 5). Existem duas classes básicas de atividades: (i) tarefa (atividade atômica) e (ii) subprocesso (atividade não atômica). A tarefa representa uma ação no processo que pode ser executada por uma pessoa ou um sistema. Já os subprocessos são representados visualmente como as tarefas; porém, apresentam um símbolo [+] na base inferior indicando que essa atividade contém um conjunto de atividades relacionadas (atômicas ou não). Os subprocessos são conectados ao fluxo do processo da mesma forma que as outras ativi-

dades, por meio de fluxos de sequência. Todas as atividades que são subprocessos podem ser representadas tanto na forma contraída como na forma expandida.



Figura 5 – Tipos de atividades em BPMN (adaptada de [Lerner et al. \(2010\)](#))

Evento: é utilizado para representar a ocorrência de fatos em um processo. São representados visualmente no modelo de processo de negócio por meio de um círculo e, dependendo do momento em que ocorrem no processo, podem ser representados de diferentes maneiras (Figura 6): (i) evento de início: indica onde um processo começa sendo representado por um círculo com linha simples. Em termos de fluxos de sequência, o evento de início começa o fluxo do processo. Logo, não terá nenhum fluxo de sequência de entrada ao evento de início; (ii) Evento intermediário: indica onde acontece algum evento entre o início e o fim de um processo. É representado por um círculo com linha dupla; (iii) evento de fim: indica onde um processo termina sendo representado por um círculo com linha grossa. Em termos de fluxo de sequência, o evento de fim termina o fluxo do processo. Logo, não haverá fluxos de sequência após um evento de fim.



Figura 6 – Tipos de eventos em BPMN ([Object Management Group, 2013](#))

Desvio (*Gateway*): é responsável por controlar o fluxo de sequência de um processo de negócio, criando caminhos alternativos exclusivos (*desvio XOR*) ou não (*desvio OR*), ou caminhos paralelos (*desvio AND*). Além de controlar a divergência, os desvios também controlam a convergência de fluxos para unificá-los em um único fluxo e dar continuidade à execução do processo. Existem quatro tipos de *gateways*, conforme mostrado na Figura 7: exclusivo (XOR), inclusivo (OR), paralelo (AND) e complexo. Esse último tipo de desvio representa uma decisão baseada em evento múltiplo, com múltiplas possibilidades de saída ([Object Management Group, 2013](#)). Por exemplo, um sistema eletrônico de propostas envia uma solicitação de cotação para vários provedores de serviços. As respostas dos provedores são unificadas em um **desvio complexo** para atender o requisito

de que quando 66% das respostas dos provedores chegarem, uma avaliação das propostas deve ser realizada pelo administrador de contratos (WHITE; DEREK, 2008).



Figura 7 – Tipos de desvio em BPMN (adaptada de Lerner et al. (2010))

Em particular, existe um desafio significativo na modelagem do dinamismo da interoperabilidade entre os processos de negócio (GRACIANO-NETO et al., 2017; SANTOS; GRACIANO-NETO; NAKAGAWA, 2020) que compõem um grande processo, geralmente automatizado por SoIS, composto por processos de negócio de diferentes organizações que fazem parte de uma aliança de organizações. Esse desafio é acentuado porque as organizações participantes podem aderir ou deixar de fazer parte de uma missão do SoIS em tempo de execução (GRACIANO-NETO et al., 2017).

Nesse cenário, diversos problemas podem ocorrer durante a interoperabilidade de processos de negócio de organizações distintas levando a outro desafio, a qual é a modelagem adequada do tratamento de exceções para garantir a tolerância a falhas durante a execução dos processos automatizados por SoS para garantir a confiabilidade desses processos. De acordo com Andrews et al. (2013), a recuperação de erro *forward*² é a forma mais apropriada para ser conduzida no contexto de SoS, principalmente devido às características de distribuição e independência operacional e gerencial dos constituintes, por ser difícil garantir que o SoS retorne a um estado anterior antes da falha.

2.3.1 Tratamento de Exceções em Modelos de Processos de Negócio

Situações excepcionais surgem frequentemente durante a execução de sistemas computacionais, inclusive em sistemas de software que automatizam processos de negócio de organizações. Devido a isso, os sistemas de software precisam ser bem projetados para serem tolerantes a falhas que eventualmente podem ocorrer em seus componentes (LERNER et al., 2010). Se não houver exceção para contornar as falhas, a execução do software poderá ser comprometida e até interrompida.

Geralmente, uma exceção é sempre lançada para sinalizar alguma falha (LERNER et al., 2010) e pode indicar um tratamento especial para contornar o problema. Esse tratamento especial é denominado tratamento de exceções. O tratamento de exceções possibilita a separação entre as atividades normais e as atividades excepcionais de um

² Tentativa de “ir para frente” e tentar tornar o estado do sistema livre de erros aplicando-se medidas corretivas no caso de um erro detectado.

sistema de software (LERNER et al., 2010). Por isso, as exceções precisam ser modeladas desde o nível de negócio visando identificar as possíveis causas de problemas conhecidos que podem ocorrer (DUMAS et al., 2013). Com isso, é possível entender melhor as falhas que podem ocorrer nos processos de negócio das organizações para tratá-las adequadamente durante o desenvolvimento do software que irá automatizar tais processos (MOLINA; PAIVA; CAGNIN, 2022). As exceções podem também estar relacionadas a falhas de tecnologia (por exemplo, uma falha no banco de dados, uma interrupção de rede ou uma violação na lógica de um sistema de software) (DUMAS et al., 2013).

Em particular, o tratamento de exceções representado em modelos de processos de negócio detecta eventos que desviam um determinado processo de seu curso normal e que poderiam causar a sua interrupção (DUMAS et al., 2013).

O tratamento de exceções em BPMN é comumente modelado usando a notação de exceção no fluxo do processo de negócio. A exceção pode ser representada como um evento intermediário de erro (representado com um marcador de raio) com um disparo especificado no limite de uma atividade (LERNER et al., 2010), como mostrado na Figura 8. Essa figura ilustra um trecho de um subprocesso de aquisição de matérias-primas junto aos fornecedores. Se houver indisponibilidade de pelo menos uma matéria-prima dos fornecedores, uma exceção é lançada por meio de um evento de erro de fim e a aquisição de matérias-primas é interrompida. Logo em seguida, o evento intermediário de erro no limite do subprocesso é ativado e uma tarefa, que consiste apenas em notificar a falta do produto ao cliente, é executada antes de finalizar o subprocesso.

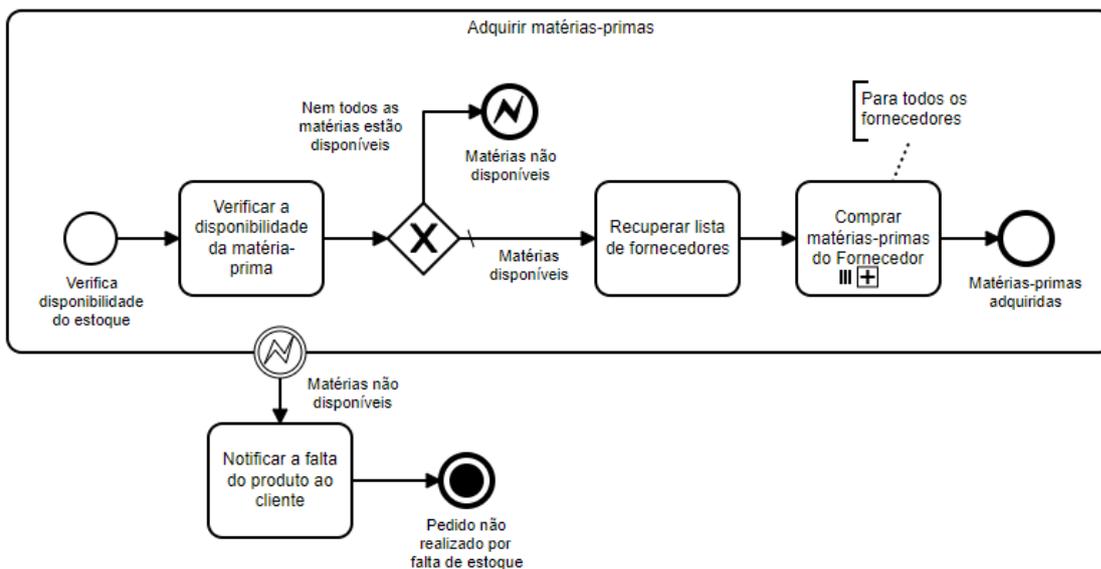


Figura 8 – Exemplo de processo interno com eventos de erros (adaptada de Dumas et al. (2013))

Para Dumas et al. (2013), a maneira mais simples de lidar com uma exceção é abortar o processo em execução e sinalizar o término impróprio do processo utilizando um evento de erro de fim, conforme exemplificado na Figura 8. Um evento de fim causa

a suspensão imediata da instância de um processo em seu nível atual e para qualquer um de seus subprocessos (DUMAS et al., 2013). O evento de fim pode ser acionado num subprocesso. Nesse caso, ele não causará uma interrupção do processo pai, mas sim apenas do subprocesso ao qual ele está vinculado. Logo, o evento de fim será propagado apenas abaixo de uma hierarquia de processos de negócio.

Uma exceção pode ser lançada de maneira interna (conforme exibido na Figura 8), em que é possível tratar a exceção interrompendo a atividade específica que causou a exceção. Posteriormente, pode ser iniciado um procedimento de recuperação para reestabelecer o processo em um estado consistente e continuar sua execução. Caso não seja possível, então o processo deve ser abortado por completo (DUMAS et al., 2013).

Além de serem disparadas de dentro do subprocesso ao qual o evento está vinculado, as exceções podem ser lançadas de outros locais internos ou externos ao processo; nesse último caso, quando há falhas externas ao processo, mas que influenciam em sua execução (LERNER et al., 2010). As exceções relacionadas a eventos externos aos processos podem ser capturadas ao anexar um evento intermediário de mensagem (de captura) (Figura 9) à borda da atividade (DUMAS et al., 2013).

Além disso, também é possível tratar exceções anexando um evento de compensação (representado com um símbolo de retroceder - ver Figura 9) ao limite da atividade e conectando-o por meio de fluxo de sequência a um tipo especial de atividade (atividade de compensação), utilizada para reverter resultados indesejados de uma atividade do tipo transação (LERNER et al., 2010), possibilitando retornar para um estado anterior do sistema. A atividade associada ao evento de compensação permite corrigir algo para que o processo ainda possa ser concluído.

Eventos de compensação podem ser inviáveis no tratamento de exceções de processos de negócios de alianças de organizações comumente automatizados por SoS, pois segundo Andrews et al. (2013), pode ser difícil retornar ao estado anterior de um SoS devido ao seu dinamismo. Outro tipo de exceção é aquela provocada pela interrupção de uma atividade que está demorando muito para ser concluída. Para modelar uma atividade que deve ser concluída num determinado prazo, podemos anexar um evento intermediário temporal (Figura 9) à borda da atividade. O evento temporal é ativado quando a atividade associada a esse evento é iniciada. Se esse evento disparar antes da conclusão da atividade, a atividade é interrompida (DUMAS et al., 2013).

Em suma, de acordo com Lerner et al. (2010), os principais eventos utilizados para representar o tratamento de exceções em processos de negócio em BPMN são (Figura 9): (i) **evento de mensagem**: representa o recebimento e o envio de mensagens entre processos de negócio; (ii) **evento temporal**: representa em um processo pontos no tempo, instante no tempo, intervalo de tempo e limite de tempo; (iii) **evento de erro**: representa a identificação de erros previstos durante a execução do processo; (iv)

evento de cancelamento: reage ao cancelamento de uma atividade do tipo transação; (v) **evento de compensação:** é utilizado para ativar uma ação de compensação, que realiza o comportamento necessário para reverter o processo de negócio ou uma atividade do tipo transação para um estado anterior; (vi) **evento de sinal:** representa a emissão de sinais entre processos. Um mesmo sinal pode ser capturado várias vezes; e (vii) **evento múltiplo:** dispara um evento a partir de um conjunto de eventos definidos, indicando que o processo pode ser iniciado, interceptado ou interrompido de várias formas distintas.

Cada tipo de evento do BPMN adotado no tratamento de exceções pode ser utilizado como evento de início, evento intermediário ou evento de fim, conforme ilustrado na Figura 9. Salienta-se que nem todos os eventos intermediários podem ser utilizados para captura e lançamento de exceções.

Eventos	Eventos de Início			Eventos Intermediários				Eventos de Fim
	Eventos de Alto Nível	Evento que, quando ocorre, provoca a Interrupção de um Sub-Processo	Evento que, quando ocorre, não provoca a Interrupção de um Sub-Processo	Captura	Interrompe a execução da instância em uma divisão ou compartimento	Não interrompe a execução da instância em uma divisão ou compartimento	Lançamento	
Mensagem								
Temporal								
Erro								
Cancelamento								
Compensação								
Sinal								
Múltiplo								

Figura 9 – Principais eventos para o tratamento de exceções em BPMN (adaptada de BERLIN (2022))

Lerner et al. (2010) afirmam que apenas as notações UML (OMG, 2017), BPMN (OMG, 2011) e Little-JIL (UMASSAMHERST, 2006) fornecem mecanismos básicos necessários (ou seja, lançar exceções, propagar exceções para um manipulador e retomar o processo de negócio em um ponto apropriado após o tratamento da exceção) para apoiar

o tratamento de exceções eficazmente. Esses autores identificaram dois padrões para o tratamento de exceções: alternativas ordenadas e alternativas não ordenadas. O padrão *alternativas ordenadas* se aplica quando há uma ordem preferencial entre as alternativas que devem ser tentadas para a execução de uma tarefa, com a intenção de prever a possibilidade de que nenhuma das alternativas seja bem-sucedida. O padrão *alternativas não ordenadas* é utilizado quando existem várias maneiras de realizar uma tarefa e não se sabe qual é a mais adequada. Nesse caso, a decisão da ordem no qual as alternativas são tentadas é adiada até o tempo de execução. Se uma tentativa de alternativa falhar, haverá outra tentativa de concluir a tarefa escolhendo uma alternativa diferente. Logo, deve continuar até que uma alternativa seja bem-sucedida ou até que todas as alternativas tenham sido tentadas e tenham falhado.

De acordo com [Lerner et al. \(2010\)](#), ao examinar os modelos de processos de negócio de diversos cenários reais, notou-se haver muitos que não representam o tratamento de exceção. Isso ocorre principalmente por conta da natureza dos processos, por não serem tão críticos ou pelo desinteresse dos analistas de processos em modelar as exceções apropriadamente. Por consequência, leva à escassez de notações para representar adequadamente as exceções ([LERNER et al., 2010](#)). Segundo os autores, especificar um comportamento excepcional requer, pelo menos, identificar as atividades que podem ocorrer falhas e lançar exceções, identificar o que deve ser tratado em cada exceção, entender as atividades necessárias para lidar com cada exceção e especificar como proceder depois que cada exceção foi tratada. Assim, é fundamental especificar precisamente não apenas o comportamento normativo de um processo, mas também fornecer uma representação precisa dos comportamentos excepcionais de um processo e como eles devem ser contornados ([LERNER et al., 2010](#)).

Salienta-se que um dos enfoques deste trabalho de mestrado é identificar os principais elementos do BPMN para o tratamento de exceções durante a comunicação entre processos de negócio de organizações distintas que pertencem a alianças de organizações e que são geralmente automatizados por SoS. Esses processos complexos são denominados PoP ([CAGNIN; NAKAGAWA, 2021](#)) e possuem peculiaridades que os diferem de processos de negócio tradicionais.

2.4 Processos-de-Processos de Negócio (PoP)

De acordo com [Cagnin e Nakagawa \(2021\)](#), PoP são processos de negócios complexos e dinâmicos compostos por processos de negócios de diferentes organizações (denominados processos constituintes³ que também podem ser um PoP) e por seus sistemas de software que automatizam esses processos e geralmente formam um SoS. Esses siste-

³ Esses processos podem ser também de departamentos independentes de uma organização.

mas de software cooperam entre si para alcançar os objetivos estratégicos de negócio de alianças de organizações.

O conceito do PoP é fundamental para estabelecer um vocabulário único na era contemporânea dos negócios, principalmente com o objetivo de promover a comunicação entre as partes interessadas de diferentes organizações. PoP também contribui para o entendimento do negócio de alianças de organizações, fornecendo uma compreensão do dinamismo e da complexidade dos seus grandes processos de negócios (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021).

Devido às suas peculiaridades, PoP possui seis características que o diferencia de processos de negócio tradicionais (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021): (i) *independência operacional*: cada processo de negócio constituinte, que pertence a uma determinada organização, é independente e opera mesmo quando está desacoplado do PoP; (ii) *independência gerencial*: cada processo constituinte é gerenciado por uma determinada organização, mesmo quando ele está participando de um PoP; (iii) *distribuição*: processos constituintes estão distribuídos em várias organizações e se comunicam por meio de mensagens; portanto, o PoP deve estar preparado para gerenciar essas mensagens; (iv) *melhoria contínua*: o PoP está sob constante mudança devido às modificações nos objetivos estratégicos de negócio; conseqüentemente, isso pode exigir a inclusão, substituição ou até mesmo remoção de processos constituintes; (v) *comportamento emergente*: os comportamentos do PoP emergem como resultado da colaboração sinérgica entre os processos constituintes; e (vi) *reconfiguração dinâmica*: PoP altera dinamicamente sua configuração em tempo de execução para garantir sua estabilidade quando ocorrer falhas ou comportamentos inesperados de processos constituintes, ou quando comportamentos previsíveis surgem durante a sua execução.

Os processos constituintes do PoP se comunicam entre si para alcançar uma ou mais missões do PoP. No PoP, é primordial estabelecer como a comunicação entre os processos constituintes é executada, quais mensagens são trocadas, como essas mensagens são trocadas e a ordem de execução dessas mensagens. Além disso, para cada mensagem trocada, é necessário definir sua sintaxe, semântica e intenção de uso (ou seja, a intenção da mensagem enviada pelo processo constituinte emissor deve ser compatível com a mensagem utilizada pelo processo constituinte receptor).

Para cumprir uma missão, podem existir diferentes caminhos de execução em um PoP (ou seja, configurações do PoP), envolvendo dois ou mais processos constituintes. Assim, cada missão do PoP envolve um conjunto de atividades coordenadas que pertencem a diversos processos constituintes e são automatizadas por sistemas constituintes de um SoS que trabalham juntos para alcançar objetivos estratégicos de negócios de alianças de organizações. As atividades (tarefas atômicas ou subprocessos) dos processos constituintes podem ser executadas de maneira manual, parcialmente automática ou totalmente

automática por sistemas constituintes do SoS.

Conforme ilustrado na Figura 10, o PoP contém dois níveis de abstração: PoP abstrato e PoP concreto. O *PoP abstrato* se refere ao PoP em tempo de *design*, contendo elementos que estabelecem quais configurações do PoP podem surgir em tempo de execução para realizar as missões do PoP. O PoP abstrato também apresenta variabilidade (GRÖNER et al., 2013) 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 do PoP. Além disso, condições de contexto podem ser associadas as variantes em tempo de *design* para estabelecer sob quais condições as variantes do PoP podem ser executadas.

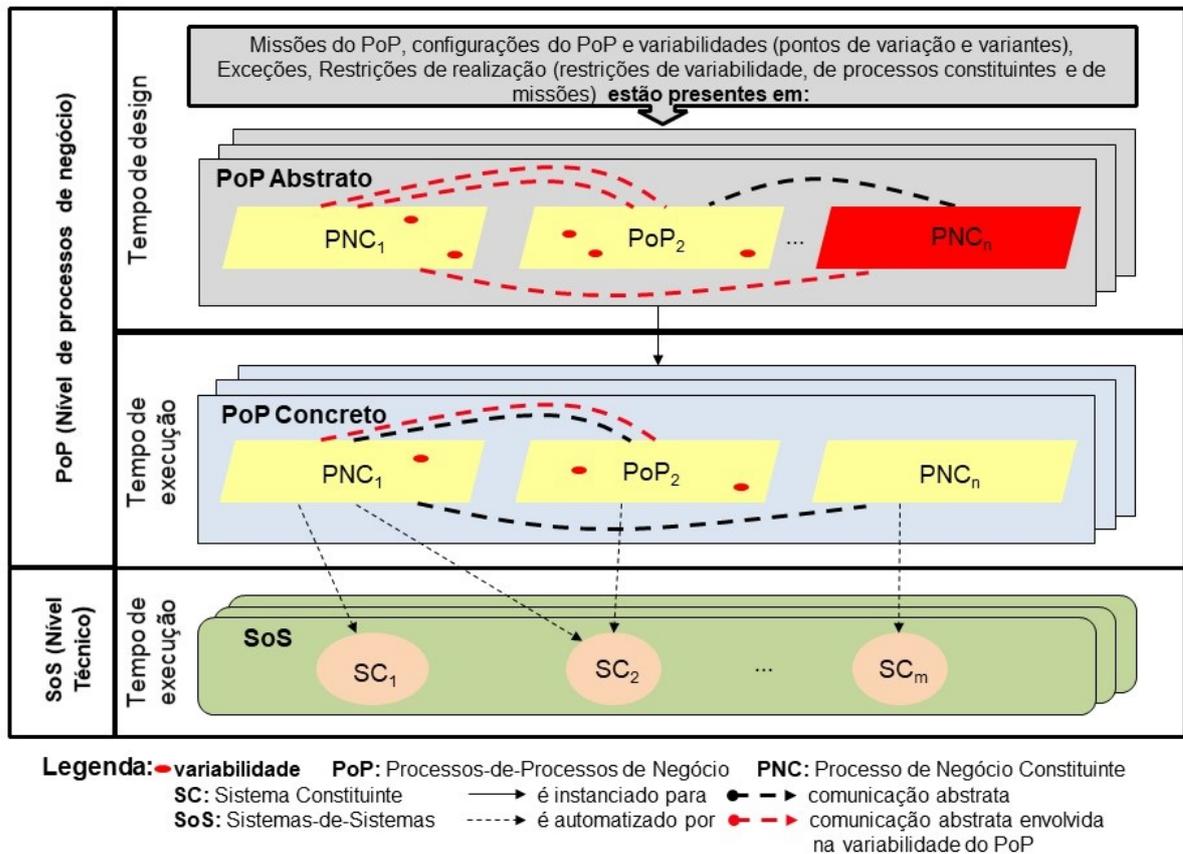


Figura 10 – Visão geral do PoP (adaptada de Cagnin e Nakagawa (2021))

No PoP abstrato, também são especificadas as restrições que podem haver entre variantes (por exemplo, variantes conflitantes ou uma variante que necessita de outra para trabalhar de maneira apropriada), entre missões (por exemplo, missões que devem ser executadas como pré-condição de outra, missões concorrentes, etc.) e entre processos constituintes (por exemplo, processos constituintes conflitantes ou redundantes). Todos esses tipos de restrição representam restrições de realização do PoP em tempo de execução. Exceções também são definidas no PoP abstrato, principalmente quando processos constituintes automáticos ou parcialmente automáticos interagem entre eles, para garantir

a estabilidade do PoP quando algum resultado inesperado ocorrer.

No PoP, as exceções são tratadas principalmente por eventos de erro BPMN na comunicação entre os processos constituintes; porém, ainda é necessário investigar as diferentes formas de tratamento de exceções no PoP durante a comunicação entre os seus processos constituintes, visto que o tratamento de exceções em modelos de processos de negócios tem diversos benefícios, dentre eles: (i) auxilia na detecção de possíveis violações na especificação dos processos de negócios (GHIDINI et al., 2011); (ii) facilita a organização dos responsáveis pelo tratamento de exceção, garantindo mais clareza e transparência (GHIDINI et al., 2011); (iii) contribui na especificação das restrições originadas do tratamento de exceções (GHIDINI et al., 2011); (iv) ajuda a compreender melhor os processos de negócio que estão sendo modelados e analisados (LERNER et al., 2010); e (v) garante a estabilidade da execução dos processos quando ocorrer comportamentos não previstos ou paradas inesperadas (CAGNIN; NAKAGAWA, 2021).

O *PoP concreto* se refere ao PoP em tempo de execução, derivado de um PoP abstrato. Um PoP abstrato pode dar origem a vários PoP concretos e cada PoP concreto pode representar várias configurações do PoP dependendo do dinamismo do PoP. Cada configuração do PoP com mais de um processo constituinte envolvido reproduz um comportamento emergente do PoP. Devido ao dinamismo do PoP, algumas comunicações abstratas entre os processos constituintes só podem ser estabelecidas em tempo de execução pois algumas instâncias de processos constituintes podem não existir no início da execução do PoP, mas surgem depois e estabelecem comunicações com instâncias de outros processos em execução.

A Figura 11 apresenta o metamodelo do PoP para facilitar o entendimento dos diversos elementos e conceitos envolvidos. Em suma, um *PoP* é composto por processos constituintes (*Constituent Process*), que podem ser também um PoP, e são automatizados por sistemas constituintes (*Constituent System*) que fazem parte de um ou mais *SoS*. Processos constituintes devem interoperar entre si por meio de trocas de mensagem para alcançar interoperabilidade pragmática (*Pragmatic Interoperability*) (que envolve principalmente o conhecimento da sintaxe (*Message_Syntax*), semântica (*Message_Semantic*) e intenção de uso (*Message_Intention*) das mensagens trocadas (ASUNCION; SINDEREN, 2011)). Adicionalmente, é fundamental definir o tratamento de exceções (*Exception_Handling*) da interoperabilidade entre os processos constituintes por meio de padrões de manipulação de exceções (*Exception_Handling_Pattern*). Esse último serve para tratar adequadamente as exceções que podem surgir durante a comunicação entre os processos constituintes.

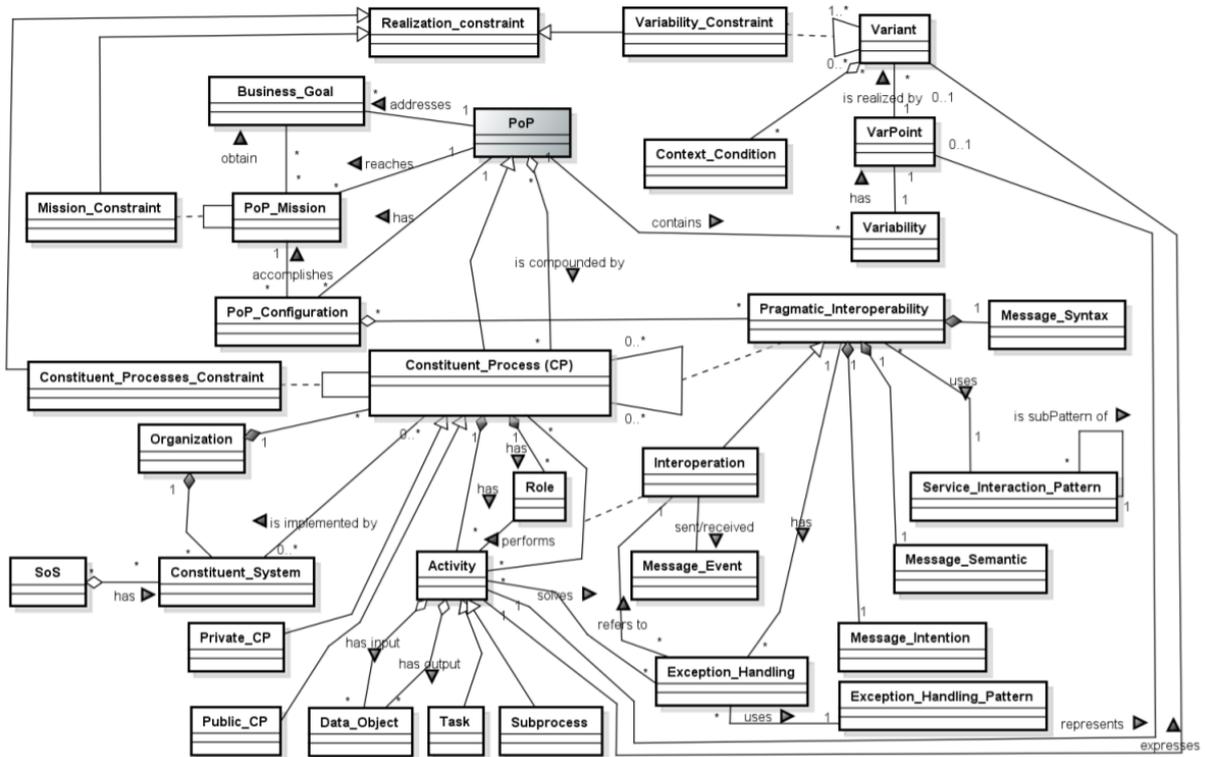


Figura 11 – Metamodelo do PoP (adaptada de Cagnin e Nakagawa (2021))

2.4.1 Modelos do PoP

Segundo Cagnin e Nakagawa (2022), o PoP abstrato pode ser representado em três visões distintas; porém, complementares (Figura 12): (i) *Visão Geral do PoP*: abrange todas as organizações envolvidas na aliança de organizações, com seus respectivos processos constituintes em alto nível de abstração, colaborando entre eles, bem como a representação das restrições existentes entre esses processos; (ii) *Visão das Missões do PoP*: mostra todas as missões do PoP em um alto nível de abstração e como elas podem ser realizadas; apresenta também as restrições existentes entre as missões; e (iii) *Visão Detalhada de Missão do PoP*: representa cada missão do PoP, detalhando todas as suas configurações; ilustra também as restrições de variabilidade.

Conforme apresentado na Figura 12, cada visão do PoP possui dois tipos de modelo para representá-la, sendo um deles para representar as restrições envolvidas. Em particular, para o Modelo Detalhado de Missão do PoP apresentar todas as configurações do PoP associadas a uma determinada missão, é necessário explicitar todos os processos constituintes que colaboraram entre si para o cumprimento dessa missão, junto de seus papéis, atividades, objetos de dados, fluxos de mensagens (incluindo detalhes das mensagens trocadas) e exceções, que é objeto de estudo deste trabalho. Esse modelo é de interesse deste trabalho e pode ser representado, conforme o método M-PoP proposto por Cagnin e Nakagawa (2022), em diagramas de colaboração da notação BPMN. Esses diagramas representam diferentes processos de negócio e a colaboração entre eles por meio de fluxos

de mensagem. O método M-PoP contém um conjunto de passos para modelar cada visão do PoP na notação BPMN de maneira sistemática e iterativa.

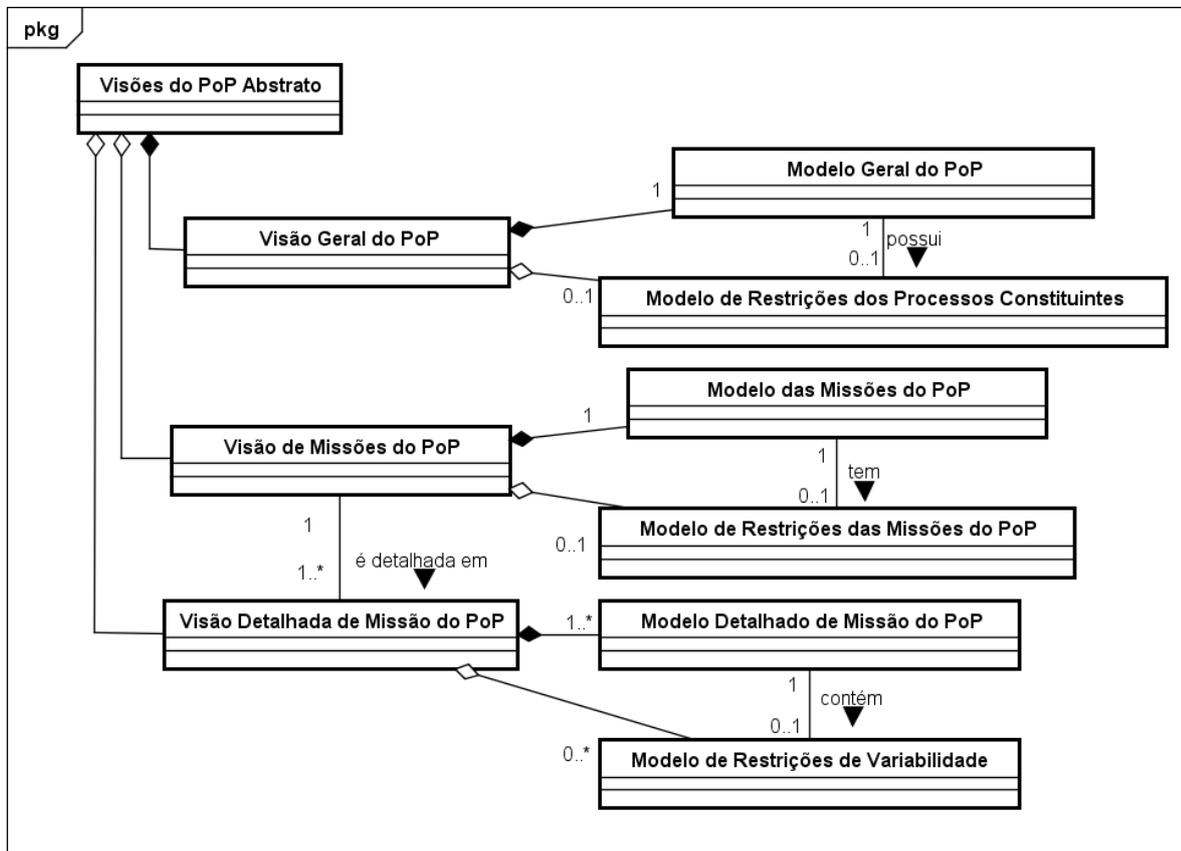


Figura 12 – Visões do PoP abstrato e modelos correspondentes (adaptada de Cagnin e Nakagawa (2022))

2.4.2 Exemplo de PoP

Como exemplo de um PoP real, tem-se o PoP de uma organização brasileira na área da saúde suplementar⁴, cuja sede está localizada na cidade de São Paulo-SP. Essa empresa possui vários departamentos com processos de negócio independentes do ponto de vista gerencial e operacional, que estão em constante evolução para atender a novas regras de negócio e atualização das normativas da legislação vigente da área da saúde. Esses departamentos e, conseqüentemente, seus processos de negócio e sistemas de software que os automatizam estão distribuídos virtualmente.

Vale ressaltar que os processos constituintes deste PoP não estão mapeados e documentados, principalmente devido à alta rotatividade de recursos humanos. Isso pode ser uma das causas dos problemas frequentes de comunicação que ocorrem entre os sistemas constituintes que automatizam esses processos. Para fins de exemplificação, a seguir estão descritos os sistemas constituintes *SaC* e *SiS*, que automatizam respectivamente os processos constituintes *Suporte* e *Financeiro*.

⁴ Nome preservado por questões de sigilo.

- *SaC*: contém informações sobre os clientes da empresa e é responsável por ativar ou suspender contratos de clientes. Sua maior frequência de uso é pelos departamentos de suporte técnico, comercial e financeiro; e
- *SiS*: contém informações de cobranças sendo utilizado pelo departamento financeiro.

Os problemas durante a comunicação entre o *SaC* e o *SiS* ocorrem quando: (i) há solicitação para alteração de dados do constituinte *SaC* para o *SiS*, e a mensagem enviada é perdida quando o *SiS* está indisponível. Logo, o dado enviado pelo *SaC* permanece desatualizado no *SiS*; (ii) há solicitação para alteração de dados do *SiS* para o *SaC*, mas o *SaC* não está disponível no momento para receber a mensagem. Por consequência, a solicitação é perdida; e (iii) há solicitação para alteração de dados do *SiS* para o *SaC*; porém, a solicitação é enviada com atraso, logo, há atraso na disponibilização de informação atualizada.

Os problemas relatados impactam consideravelmente na execução das atividades diárias da empresa, culminando em atrasos durante atendimentos com o cliente principalmente quando o *SaC* ou o *SiS* não exibem a informação solicitada ou exibem informação inconsistente. No pior dos casos, todo o atendimento iniciado precisa ser refeito desde o início.

Com o intuito de mitigar os problemas supracitados, os processos constituintes *Suporte* e *Financeiro* do PoP de saúde suplementar relacionados à missão “Gerenciar os contratos de maneira eficiente” foram modelados no âmbito deste trabalho, conforme apresentado na Figura 13. Em linhas gerais, o *Suporte* realiza atividades diariamente, solicitadas pelo *Financeiro*, para suspender contratos inadimplentes (quando não ocorre pagamento após a data de vencimento) ou ativar os contratos suspensos quando o pagamento é recebido. Ao concluir cada uma dessas atividades, o *Suporte* avisa o *Financeiro* sobre as alterações realizadas. Caso ocorra alguma falha nessa comunicação, o *Suporte* tenta enviar novamente a notificação para o *Financeiro*, a cada 10 segundos, por no máximo três vezes.

O *Financeiro* acompanha os pagamentos e as pendências dos contratos dos clientes. Quando há pagamento do contrato em dia, o *Financeiro* registra as informações do pagamento. Se há pendência no pagamento do contrato, o *Financeiro* avisa o cliente e solicita para o *Suporte* suspender o contrato do cliente inadimplente. Caso ocorra alguma falha nessa comunicação, o *Financeiro* tenta enviar novamente a notificação ao *Suporte*, a cada 15 segundos, por no máximo cinco vezes. Por outro lado, se o contrato do cliente inadimplente está suspenso e for identificado o pagamento, o *Financeiro* solicita ao *Suporte* a ativação do contrato para o cliente voltar a usufruir dos serviços oferecidos pela empresa. Caso ocorra atraso no envio dessa notificação, o *Financeiro* entra em contato com o *Suporte* via-mail para verificar se a notificação foi recebida. Caso o *Suporte* não te-

nha recebido a notificação, o *Financeiro* realiza novamente o envio. Caso o pagamento não seja identificado pelo *Financeiro*, o contrato permanece suspenso até que seja identificado o seu pagamento.

Salienta-se que para mitigar os diversos problemas que podem ocorrer e evitar dispêndio de tempo e recursos, é importante mapear e documentar os PoP das alianças de organizações, inclusive o tratamento de exceções durante a comunicação entre os processos constituintes que será fonte de informação útil para a extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS, sendo foco deste trabalho de mestrado. Além disso, este cenário também apoiou a definição dos cenários abstratos apresentados na Seção 4.4 do Capítulo 4.

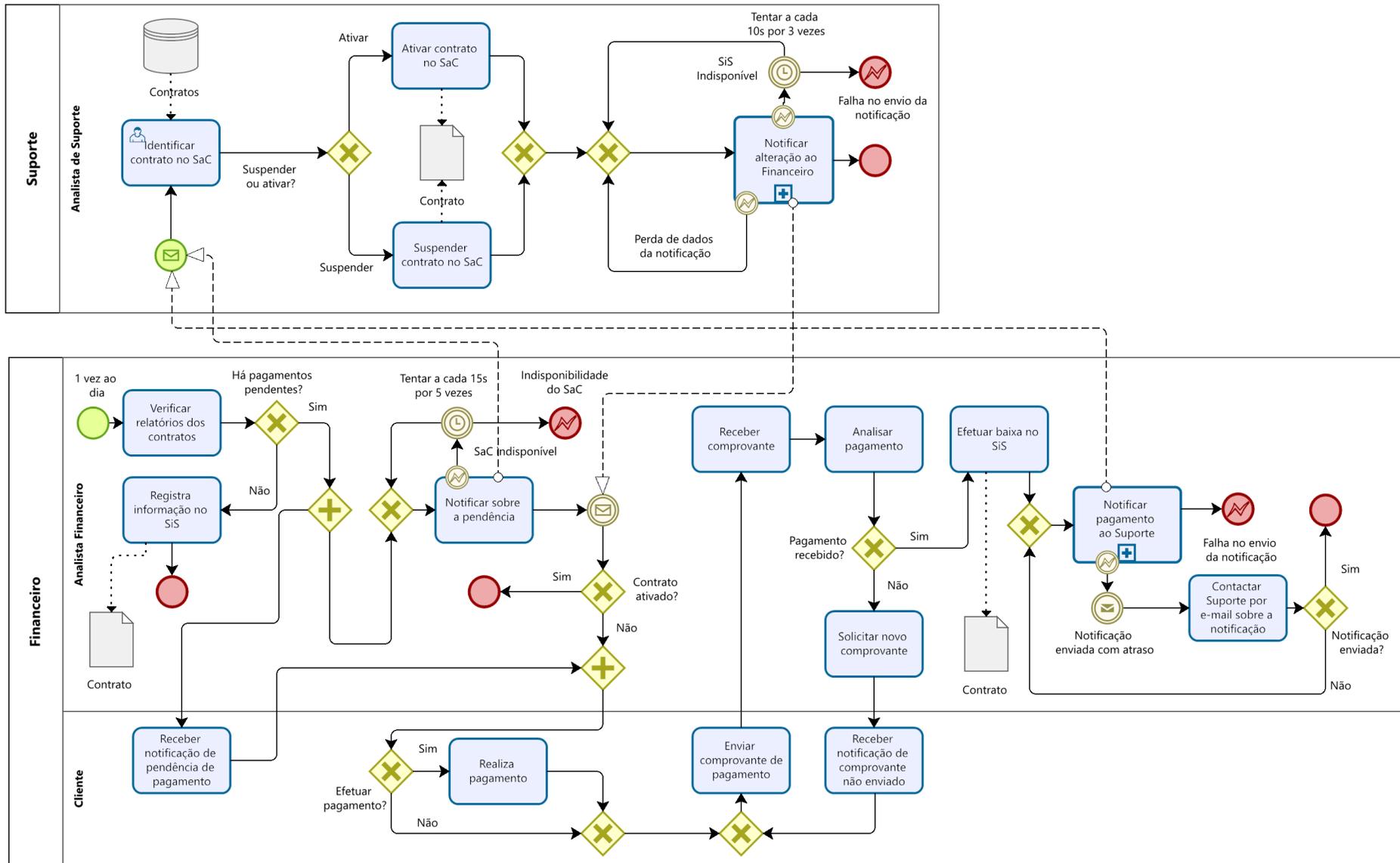


Figura 13 – Modelo Detalhado de Missão “Gerenciar os contratos de maneira eficiente”do PoP Saúde Suplementar

2.4.3 Ferramenta de apoio a modelagem de PoP

Para auxiliar no gerenciamento e na modelagem de PoP de alianças de organizações foi desenvolvida uma ferramenta na plataforma web chamada *PoP Modeler*^{5,6} (MATTIA, 2021; FRANCO; MATTIA, 2022b).

Embora existam várias ferramentas de modelagem de processos de negócio, como BPMN.io⁷ e Bizagi⁸, nenhuma gera a representação das três visões do PoP, conforme preconizadas pelo método M-PoP, e nem gerencia essa representação com o intuito de manter a sua consistência com as informações das alianças de organizações e de seus PoP.

PoP Modeler possui basicamente três módulos: (i) gerenciamento de aliança (*Business Alliance Management*): permite visualizar, editar e excluir os membros de cada aliança, assim como as colaborações internas e externas à aliança e possibilita atualizar alianças; (ii) gerenciamento do PoP (*PoP Management*): permite visualizar, editar e excluir cada modelo de processo de negócio dos membros de cada aliança, bem como cada PoP e missões do PoP de cada aliança; (iii) modelagem do PoP (*PoP Modeling*) (FRANCO; MATTIA, 2022a), possibilita criar todas as visões de um determinado PoP (Figura 12) de uma aliança de organizações com base nas regras de modelagem definidas no M-PoP.

O público-alvo dos dois primeiros módulos são, respectivamente, os responsáveis pela gestão das alianças de organizações e os analistas de processos do PoP. O público alvo do terceiro módulo são analistas de processos responsáveis pela modelagem do PoP. Salienta-se que o terceiro módulo está fundamentado na ferramenta BPMN.io, por ser desenvolvida para a plataforma web, é baseada na especificação BPMN 2.0 (Object Management Group, 2013) da OMG (*Object Management Group*) e possui código-fonte aberto.

A *PoP Modeler* foi desenvolvida na arquitetura cliente-servidor (TANENBAUM, 2007), com o uso do framework Laravel Lumen⁹ para implementação de uma *API Rest* com a persistência dos dados em PostgreSQL¹⁰ no lado do servidor. Já no lado cliente, as bibliotecas React¹¹ e Material IO¹² são utilizadas para realizar requisições por meio da *API Rest*. A Figura 14 apresenta a tela principal do módulo *PoP Modeling*, em que é possível observar a indicação das três visões do PoP, descritas na Seção 2.4.1, no menu no lado esquerdo.

⁵ <https://popmodeler.ledes.net>

⁶ O código-fonte e a documentação da ferramenta podem ser encontrados nos seguintes repositórios públicos: <https://github.com/popmodeler/frontend>, <https://github.com/popmodeler/backend> e <https://popmodelerdoc.ledes.net>

⁷ <https://bpmn.io/>

⁸ <https://www.bizagi.com>

⁹ <https://lumen.laravel.com/docs/10.x>

¹⁰ <https://www.postgresql.org>

¹¹ <https://react.dev>

¹² <https://mui.com>

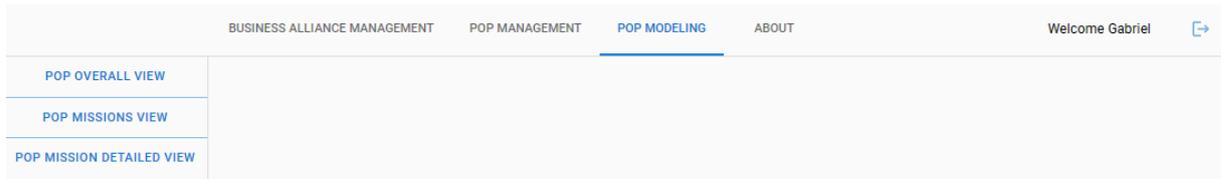


Figura 14 – Tela inicial do módulo *PoP modeling* (adaptada de Franco e Mattia (2022a))

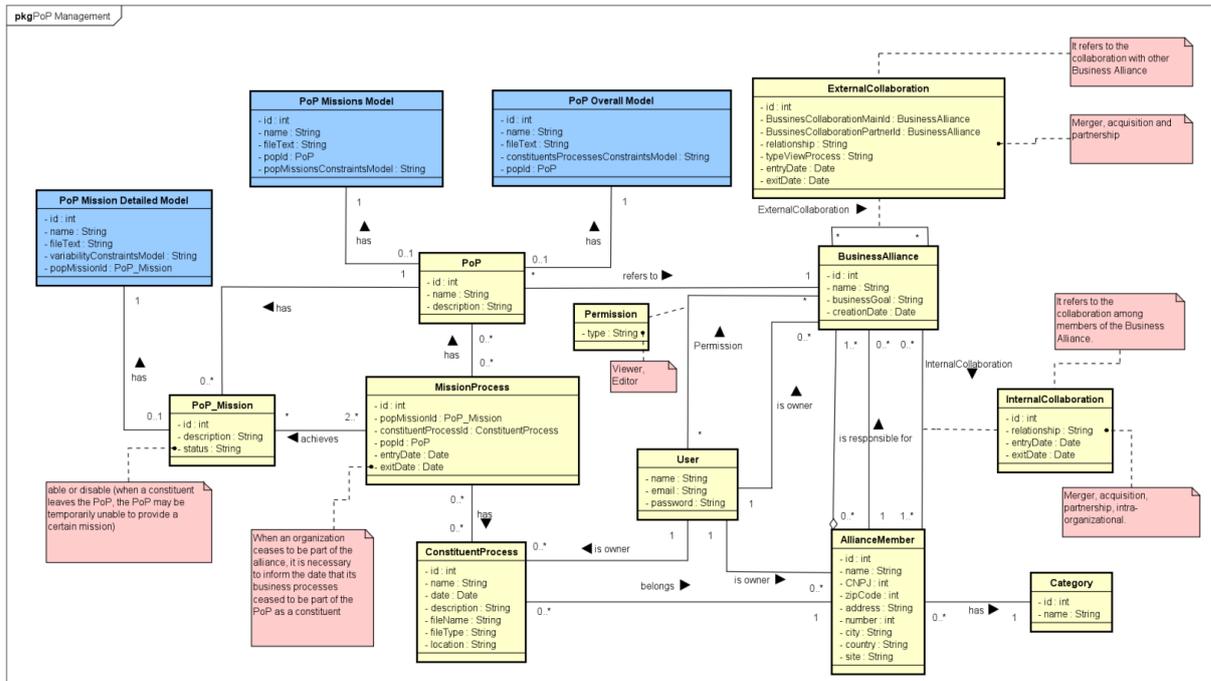


Figura 15 – Diagrama de classes da ferramenta *PoP Modeler* (adaptada de Franco e Mattia (2022a))

A Figura 15 apresenta o diagrama de classes da *PoP Modeler*. As classes para a construção do módulo *PoP Modeling* estão destacadas na cor azul e as demais classes já existentes, que contemplam os módulos *Business Alliance Management* e *PoP Management* estão destacadas na cor amarela.

As classes na cor azul *PoP Overall Model*, *PoP Missions Model* e *PoP Mission Detailed Model* referem-se, respectivamente, aos Modelo Geral do PoP, Modelo de Missões do PoP e Modelo Detalhado de Missão do PoP. Um PoP pode conter um *PoP Overall Model* e um *PoP Missions Model*. Cada missão do PoP pode ter apenas um *PoP Mission Detailed Model*. Os modelos de restrições (ou seja, *Constituent Processes Constraints Model* - Modelo de Restrições dos Processos Constituintes, *PoP Missions Constraints Model* - Modelo de Restrições das Missões do PoP e *Variability Constraints Model* - Modelo de Restrições de Variabilidade) foram representados por atributos nas classes correspondentes aos outros modelos das visões do PoP.

Para exemplificar, a Figura 16 apresenta o Modelo Detalhado de Missão do PoP saúde complementar, correspondente à missão “Gerenciar contratos de maneira eficiente”, descrito na seção anterior. Esse modelo foi gerado automaticamente pela *PoP Modeler*

fazendo a busca de todos os processos constituintes cadastrados no módulo *PoP Management* para cumprir a missão “Gerenciar contratos de maneira eficiente” do PoP saúde complementar e fazendo a união deles em um mesmo modelo por meio da conversão de texto XML (*Extensible Markup Language*) para objeto DOM (*Document Object Model*). Após essa conversão, a ferramenta faz diversas manipulações nas tags e atributos a fim de fazer essa união de processos constituintes provindos de arquivos diferentes, assim como ajustar seu posicionamento para não haver sobreposição de piscinas BPMN no modelo gerado.

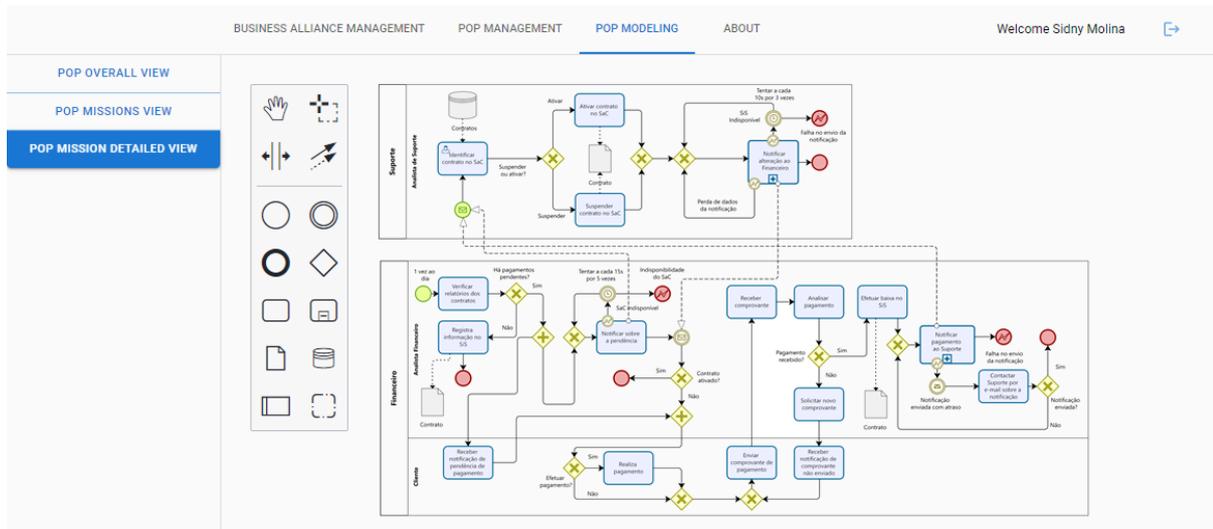


Figura 16 – PoP *Mission Detailed Model* da missão “Gerenciar contratos de maneira eficiente” do PoP Saúde Suplementar

2.5 Considerações Finais

Este capítulo apresentou o referencial teórico para o entendimento deste trabalho, abordando conceitos fundamentais como as características intrínsecas ao SoS e ao PoP, bem como a importância de investigar requisitos de confiabilidade, particularmente de tolerância a falhas, para garantir a estabilidade e o bom funcionamento do SoS de forma que alcance as suas missões e, conseqüentemente, os objetivos estratégicos da respectiva aliança de organizações. Além disso, foram apontados diversos fatores que diferenciam a Engenharia de Requisitos de SoS da Engenharia de Requisitos tradicional, reforçando a necessidade de estender ou adaptar as técnicas existentes para o contexto do SoS. Outro assunto considerado neste capítulo foi a importância do tratamento de exceções em modelos de processos de negócio, inclusive no PoP, para que as alianças de organizações garantam a estabilidade na execução dos seus processos de negócio complexos e dinâmicos. Isso possibilita que as alianças consigam realizar de maneira apropriada as atividades do negócio, sem correr o risco de atrasos na entrega de serviços ou de produtos, comprometendo a sua competitividade e lucratividade.

3 Trabalhos Relacionados

3.1 Considerações Iniciais

A partir de um mapeamento sistemático conduzido no âmbito deste trabalho (MOLINA; PAIVA; CAGNIN, 2022), cujo planejamento e condução estão descritos no Apêndice A, foram encontrados 12 estudos primários. A Seção 3.2 apresenta uma visão geral desses estudos. A Seção 3.3 até a Seção 3.7 discorrem sobre esses trabalhos quanto aos tipos de requisito de confiabilidade tratados, fases do ciclo de vida do SoS consideradas, mecanismos de elicitação de requisitos de confiabilidade de SoS utilizados, técnicas adotadas para a especificação desses requisitos, validação dos requisitos de confiabilidade do SoS e avaliação dos mecanismos de elicitação encontrados nos estudos. Por fim, a Seção 3.9 apresenta as considerações finais deste capítulo.

3.2 Visão geral dos trabalhos

A Figura 17 apresenta um panorama dos estudos primários. Observa-se que a publicação dos estudos está distribuída, em geral, de maneira equilibrada ao longo dos anos (exceto no período 2010 a 2012) e que a maioria dos autores é da academia. Apenas um estudo foi publicado em periódico da área (*IEEE Systems Journal*) e a maioria deles foi publicado em conferências relevantes, como *System of Systems Engineering* (SoSE), *Asia-Pacific Software Engineering Conference* (APSEC), *International Symposium on Autonomous Decentralized Systems* (ISADS) e *Brazilian Symposium on Information Systems* (SBSI).

Os estudos relacionados contemplam diversas áreas críticas da sociedade, por exemplo, militar, saúde, indústria de automação de veículos, cidades inteligentes, estatística e gerenciamento de trânsito. As áreas com maiores frequências estão presentes no contexto militar, devido à falta do aperfeiçoamento da interoperabilidade entre os sistemas constituintes para a execução e o monitoramento das demandas militares. As áreas de saúde, automação de veículos e gerenciamento de trânsito, estão também se destacam devido aos acidentes que podem ocorrer devida a falta da interoperabilidade da comunicação com outros constituintes que norteiam trajetos (GPS), impedindo que o trajeto esteja correto e na área de cidades inteligentes, também estão relacionados aos veículos autônomos com as possíveis sinalizações, podendo gerar acidentes e levar perdas de vidas humanas. Já a área de estatística está presente para apoiar tomadas de decisões, levantando situações que poderiam prejudicar a confiabilidade geral do SoS.

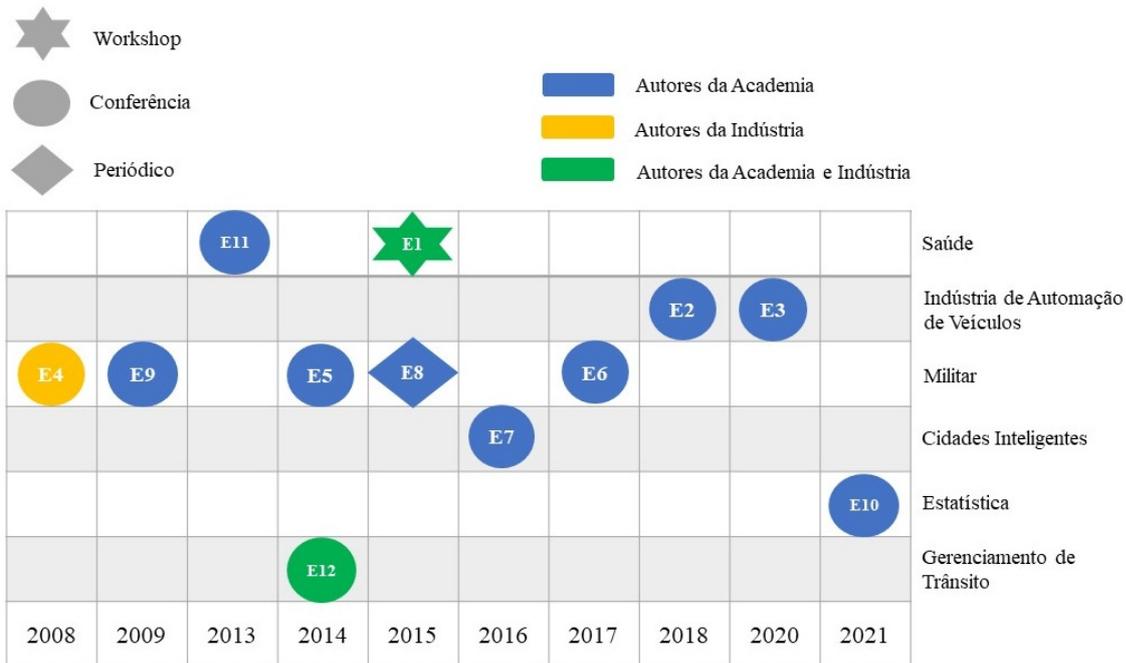


Figura 17 – Visão geral dos estudos primários

Tabela 2 – Estudos primários selecionados

ID	Ano	Tipo de Publicação	Título
E1	2015	Workshop	A Conceptual Model of System of Systems (DAMM; VINCENTELLI, 2015)
E2	2018	Conferência	Irrational System Behavior in a System of Systems (BOS-SUYT; O'HALLORAN; ARLITT, 2018)
E3	2020	Conferência	Pattern-based Analysis of Interaction Failures in Systems-of-Systems: a Case Study on Platooning (HYUN et al., 2020)
E4	2008	Conferência	Autonomous verification architectures for complex systems (PRASAD; MILKS, 2008)
E5	2014	Conferência	Research on the task process reliability modeling of SoS (TIANJIAN; XIN, 2014)
E6	2017	Conferência	Systems architecture in failure analysis (Applications of architecture modeling to system failure analysis) (RAMBIKUR; GIAMMARCO; O'HALLORAN, 2017)
E7	2016	Conferência	Model Driven Software Security Architecture of Systems-of-Systems (HACHEM et al., 2016)
E8	2014	Periódico	On the Reliability Analysis of Systems and SoS: The RAMSAS Method and Related Extensions (GARRO; TUNDIS, 2014)
E9	2009	Conferência	A deviation based systems of systems safety view for modelling architectural frameworks (DESPOTOU; KELLY, 2009)
E10	2021	Conferência	System-of-Systems Reliability: An Exploratory Study in a Brazilian Public Organization (IMAMURA et al., 2021)
E11	2013	Conferência	Fault modelling for systems of systems (ANDREWS et al., 2013)
E12	2014	Conferência	SysML fault modelling in a traffic management system of systems (INGRAM et al., 2014)

3.3 Tipos de requisitos de confiabilidade

Todos os estudos primários selecionados preocupam-se mais especificamente com requisitos de tolerância a falhas e somente cinco de doze estudos preocupam-se com os requisitos de recuperabilidade apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Tipos de requisitos de confiabilidade cobertos pelos estudos primários

Tipo	ID
Tolerância a falha	E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11 e E12
Recuperabilidade	E7, E8, E10, E11 e E12

O primeiro tipo de requisito é bastante relevante no contexto de SoS, pois podem ocorrer diversas falhas, principalmente devido a sua arquitetura dinâmica, já que seus constituintes podem ser alterados, removidos ou inseridos, a qualquer momento, em tempo de execução. Além disso, podem ocorrer atrasos de comunicação (por exemplo, devido a dados que dependem de uma coleta manual e são enviados em lote para algum sistema, podendo levar algum tempo para serem incorporados ao banco de dados), indisponibilidade do serviço (por exemplo, em razão do excesso de chamadas de serviços) e também alteração em interfaces dos serviços sem notificar previamente os envolvidos (IMAMURA et al., 2021). Assim, justifica-se o segundo tipo de requisito menos tratado pelos estudos, pois uma vez que as possíveis falhas são identificadas, é necessário definir procedimentos adequados para contornar os problemas levantados a fim de manter a estabilidade do SoS para cumprir as suas missões e, conseqüentemente, para atender os objetivos estratégicos de negócio das alianças de organizações. Devido à relação intrínseca entre requisitos de tolerância a falhas e de recuperabilidade, 5 de 12 estudos tratam ambos requisitos.

3.4 Elicitação e especificação de requisitos de confiabilidade durante o ciclo de vida do SoS

Poucos estudos tratam da descoberta de requisitos de confiabilidade (5 de 12) e em uma fase posterior à fase de requisitos, ou seja, na fase de projeto arquitetural (4 de 12), conforme indicado na Tabela 4. Apenas um estudo (E10) preocupa-se em levantar e especificar esse tipo de requisito na fase de requisitos, porém não discute como isso poderia ser feito durante o desenvolvimento evolucionário do SoS. Esse resultado evidencia que a área de Engenharia de Requisitos de SoS precisa ser mais explorada (NCUBE; LIM, 2018), visto que os esforços continuam bastante concentrados ao nível arquitetural (CADAVID; ANDRIKOPOULOS; AVGERIOU, 2020).

Na fase de projeto arquitetural, as capacidades dos constituintes já foram identificadas em fases anteriores do ciclo de vida do SoS, utilizando técnicas apropriadas,

Tabela 4 – Extração e especificação de requisitos de confiabilidade no ciclo de vida do SoS

Fase	ID (Extração)	ID (Especificação)
Requisito	E10	E10
Projeto Arquitetural	E2, E3, E5 e E9	E1, E2, E3, E4, E5, E7, E8, E11 e E12

como mKAOS (SILVA; BATISTA; OQUENDO, 2015). Diante disso, o interesse maior dos estudos está em definir *como* as potenciais falhas, que podem surgir durante a interoperabilidade entre os sistemas constituintes ou em algum outro momento da execução do SoS, devem ser tratadas ao nível arquitetural para garantir a estabilidade do SoS.

3.5 Mecanismos para elicitação de requisitos de confiabilidade de SoS

Conforme já mencionado na Seção 3.4, os estudos E2, E3, E5, E9 e E10 tratam da extração de requisitos de confiabilidade de SoS voltados a tolerância a falhas. Para isso, esses estudos utilizam mecanismos distintos (Tabela 5).

Tabela 5 – Mecanismos de extração de requisitos de confiabilidade de SoS

Mecanismo	Fonte de informação	ID
Abordagem para identificar vulnerabilidades do SoS	Interação entre constituintes representada em modelos funcionais	E2
Técnica para extrair sequências de interação impróprias entre constituintes	Dados de interação entre constituintes obtidos a partir de <i>logs</i> de execução do SoS	E3
Abordagem para identificar causas de falhas	Diagrama causal	E5
Abordagem DDA (<i>Dependability Deviation Analysis</i>)	Elementos do SoS	E9
Grupo focal ¹	Equipe de engenharia do SoS	E10

Em mais detalhes, o estudo E2 identifica comportamentos impróprios a partir da análise dos fluxos que saem de cada constituinte do SoS e são eventos iniciais inesperados em outro constituinte. A análise é feita em modelos funcionais, que representam a comunicação entre os sistemas constituintes. Após a identificação dos comportamentos impróprios, os autores atribuem uma probabilidade de ocorrência a cada um deles. Segundo os autores, a análise dos fluxos e a atribuição de probabilidade podem ser apoiados por técnicas existentes de análise de falhas de produtos (como FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) e PRA (*Probabilistic Risk Assessment*)).

No estudo E3, os autores propõem uma técnica de análise baseada em padrões para processar os dados de interação entre constituintes e extrair sequências de interação impróprias que levam a falhas e dificultam o cumprimento das missões do SoS. Os dados

de interação, gerados por simulador, são obtidos a partir de *logs* de execução de cenários reais que falharam.

Já, o estudo E5 analisa cada possível falha que pode ocorrer durante o processo de tarefa do SoS, visto que esse processo é composto por outros processos e a falha de cada processo provavelmente afetará todo o processo do SoS. A análise é realizada em um diagrama causal², que representa o processo de tarefa do SoS, e baseada em uma técnica de análise de falhas de produtos (FMEA).

No estudo E9, os autores utilizam a abordagem DDA (*Dependability Deviation Analysis*) para identificar as condições de falhas e respectivos efeitos relacionados a cada elemento do SoS. Cada elemento do SoS é investigado com o intuito de levantar desvios do comportamento pretendido (por exemplo, omissão de determinado serviço). Se os efeitos do desvio afetarem a operação do SoS, uma condição de falha é identificada. Em seguida, os elementos do SoS, as respectivas condições de falhas identificadas e os efeitos correspondentes são representados em um modelo de falhas (F-Maps), a partir do qual são extraídos os requisitos de tolerância a falhas. Esses requisitos refletem o contexto de como as falhas afetarão toda a operação do SoS, e não o contexto local de uma única condição de falha.

Por outro lado, no E10 os autores conduziram um grupo focal com a equipe de engenharia de SoS de uma organização pública na área de estatística (para apoio a tomada de decisões) para levantar situações que poderiam prejudicar a confiabilidade geral do SoS (por exemplo, chamadas excessivas para serviços de dados, atrasos de comunicação entre os sistemas constituintes e alteração nas interfaces dos serviços fornecidos pelos constituintes).

3.6 Técnicas para especificação de requisitos de confiabilidade de SoS

Conforme apresentado na Tabela 6, os estudos utilizam diferentes técnicas para especificar os requisitos de confiabilidade, sendo que 8 de 12 estudos (E1, E3, E5, E7, E8, E10, E11 e E12) representam esses requisitos por meio de modelos ou diagramas. Desses estudos, quatro deles (E7, E8, E11 e E12) representam os requisitos de confiabilidade em diagramas distintos da notação SysML³, a qual é uma linguagem utilizada para documentar a arquitetura de sistemas complexos, como o SoS. Em particular, o estudo E7 estendeu o diagrama de blocos da SysML para criar dois outros modelos (de segurança e de objetivos) e o estudo E12 criou um perfil para a SysML, utilizando estereótipos

² Esse diagrama mostra a hierarquia dos processos do SoS e suas respectivas tarefas (TIANJIAN; XIN, 2014).

³ <https://sysml.org/>

específicos para representar mais apropriadamente as falhas de um SoS. Por outro lado, dois estudos (E8 e E11) utilizam na íntegra alguns diagramas da SysML (de requisitos, de definição de bloco, de bloco interno, de sequência e de atividades) para especificar os requisitos de confiabilidade do SoS com foco em tolerância a falhas.

Tabela 6 – Técnicas para especificação de requisitos de confiabilidade de SoS

Técnica	Notação	ID
Mapa conceitual	Mapa Conceitual	E1
Lista de caminhos de falhas	Textual	E2
Modelo de interação	Próprio autor	E3
Ontologia de falhas	Modelo de dados relacional	E4
Planilha	Textual	E5
Diagrama	IDEF3	E5
Modelo de segurança e modelo de objetivos	Extensão do diagrama de blocos da SysML	E7
Diagrama de requisitos	SysML	E8
Modelo de missões com confiabilidade representada	Extensão da mKAOS	E10
Diagramas de definição de bloco, de bloco interno, de sequência e de atividades	SysML	E11
Diagramas de atividades	SysML	E12

Considerando os outros estudos que representam os requisitos de confiabilidade em diagramas ou modelos, o estudo E1 utiliza mapa conceitual para representar um panorama das falhas que podem ocorrer durante a execução de um SoS. Em outra perspectiva, o estudo E10 estendeu o modelo de missões da mKAOS (SILVA; BATISTA; OQUENDO, 2015), o qual é uma linguagem orientada as missões criada para representar informação associada a missões do SoS. O modelo estendido possui novos elementos inspirados em três elementos da notação BPMN (evento *timer*, evento *cancel* e desvio exclusivo). Já, o estudo E3 utiliza um modelo de interação, com notação própria, para representar interações entre os sistemas constituintes com comportamentos inesperados.

Três estudos (E2, E4 e E5) utilizam representação textual para especificar requisitos de confiabilidade de SoS. Em mais detalhes, E2 apresenta uma listagem de cada caminho de execução do SoS que leva a falhas, enquanto o E5 utiliza uma planilha para documentar todas as falhas identificadas no SoS. Essa planilha contém, dentre outras informações, cada tarefa do processo com o respectivo modo, efeito e causa da falha, e também como mitigar a falha. A partir dessa planilha, são gerados diagramas na notação IDEF3 (*Integrated DEFINition for Process Description Capture Method*) para representar graficamente as falhas que podem ocorrer durante o fluxo de tarefas do processo. Por fim, E4 representa uma ontologia de falhas em um modelo de dados relacional semântico baseado em axiomas, que possibilita gerar ou atualizar um conjunto exaustivo de falhas de SoS.

3.7 Validação dos requisitos de confiabilidade do SoS e avaliação dos mecanismos de extração

Ressalta-se que nenhum dos estudos primários, principalmente aqueles que propõem mecanismos para extrair requisitos de confiabilidade de SoS, explicitaram a forma que esses requisitos foram validados. Em relação à avaliação dos mecanismos de extração de requisitos de confiabilidade, todos os estudos primários correspondentes foram avaliados por meio de estudos de caso em domínios variados mencionados na Seção 3.2. A maioria desses estudos de caso abordou desafios principalmente atrelados a tolerância a falhas (E2, E3, E5, E9 e E10) e recuperabilidade (E10).

3.8 Discussões

Os sistemas constituintes de um SoS são comumente controlados por diferentes organizações ou podem estar geograficamente distribuídos dentro de uma mesma organização (MAIER, 1998). Nesse contexto, a Engenharia de Requisitos de SoS deve ser realizada com o apoio dos vários *stakeholders* durante o desenvolvimento evolucionário do SoS para que seu ciclo de vida seja perene (ANDREWS et al., 2013). Apesar dessa preocupação, os estudos primários deste mapeamento sistemático dão maior enfoque na elicitación e especificação de requisitos de confiabilidade durante a fase de projeto arquitetural e não apresentam métodos e técnicas específicos para tratar esse tipo de requisito durante a fase de requisitos ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento e evolução do SoS.

Outra característica peculiar é o dinamismo do SoS, tornando vital garantir a confiabilidade do SoS (BATISTA, 2013). Compreender as comunicações entre os sistemas constituintes e identificar as falhas que impactam a execução do SoS é fundamental para estabelecer mecanismos que garantam a sua estabilidade (NCUBE; LIM, 2018). Nessa direção, quase metade dos estudos primários que se preocupam com extração de requisitos de confiabilidade consideram como fonte de informação a interação entre os sistemas constituintes e, inclusive, sequências de interação que levam a falhas e prejudicam o alcance das missões do SoS.

Entretanto, apesar da informação valiosa dos grandes, complexos e dinâmicos processos de negócios das alianças de organizações (como é o caso de PoP) e dos diversos benefícios em extrair requisitos a partir de modelos de processos de negócio, dentre eles o alinhamento entre os níveis técnico e de negócio (CRUZ; MACHADO; SANTOS, 2015), visto que confiabilidade deve ser considerada e gerenciada desde o nível de negócio, nenhum estudo primário utiliza esse artefato como fonte de informação. Os mecanismos de extração de requisitos de confiabilidade dos estudos primários também não se preo-

cupam com possíveis falhas que podem ocorrer quando os constituintes evoluem, devido às características inerentes ao SoS (como independência operacional e gerencial, e desenvolvimento evolucionário), e podem deixar de oferecer as capacidades necessárias para o cumprimento das missões do SoS.

Diferentemente do pouco enfoque dado pelos estudos em extração de requisitos de confiabilidade de SoS, a especificação é abordada por quase todos devido à importância de registrar requisitos não funcionais (dentre eles, requisitos de confiabilidade) como parte da documentação do SoS, especialmente na fase de projeto arquitetural. A maioria dos estudos utiliza modelos ou diagramas para documentar os requisitos de confiabilidade, já que esse tipo de artefato é comumente adotado para representar arquitetura de SoS (GUESSI; GRACIANO-NETO; NAKAGAWA, 2019). Porém, nenhum estudo discutiu uma representação ou *template* padrão para especificar os requisitos de confiabilidade de maneira completa e adequada, considerando as particularidades do SoS, destacando-se o seu comportamento emergente e desenvolvimento evolucionário, bem como a independência operacional e gerencial dos seus constituintes.

3.9 Considerações Finais

A partir dos resultados obtidos no mapeamento sistemático conduzido no âmbito deste trabalho obteve-se um melhor entendimento sobre como os requisitos de confiabilidade de SoS estão sendo tratados na literatura. Foi constatado que os requisitos de confiabilidade de SoS estão concentrados em tolerância a falhas e recuperabilidade e estão sendo identificados e especificados em fase posterior à fase de requisitos. Por essa razão, as especificações são baseadas principalmente em modelos e diagramas, dentre eles destacando-se os da SysML. A descoberta dos requisitos de confiabilidade é baseada principalmente em comportamentos inesperados que podem ocorrer durante a comunicação entre os constituintes. Ademais, os resultados mostram que nenhum estudo primário preocupa-se em considerar os grandes, complexos e dinâmicos processos de negócios de alianças de organizações (ou seja, PoP) como fonte de informação para extrair os requisitos de confiabilidade do SoS, uma vez que é importante se preocupar desde o nível de processos de negócio com as potenciais falhas (por exemplo, comportamentos não previstos ou interrupções inesperadas) que podem dificultar a execução ou afetar a estabilidade e disponibilidade do negócio. Com essa fonte de informação, é possível manter o alinhamento entre os níveis técnico e de negócio, colaborando para que o SoS ajude as alianças a alcançarem seus objetivos estratégicos de negócio, tornando-as mais eficientes. Salienta-se que este MSL não foi atualizado após a sua condução.

No próximo capítulo, será apresentado um dos artefatos construídos e avaliados neste trabalho de mestrado, que consiste na modelagem dos cenários concretos e abstratos.

4 Cenários Abstratos de Tratamento de Exceções na Interoperabilidade de PoP

4.1 Considerações Iniciais

Para apoiar a concepção dos cenários abstratos de tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP (ou seja, no contexto de envio e de recebimento de retorno de mensagens), foram modelados cinco cenários concretos. Esses cenários concretos foram obtidos a partir da modelagem de PoP identificados na literatura e também de PoP de três organizações reais. A partir disso, foi realizada uma análise para levantar os elementos BPMN utilizados para representar o tratamento de exceções durante a interoperabilidade dos processos constituintes de cada PoP modelado, conforme mostrado na Seção 4.3.

Com base nos cenários concretos modelados e em trabalhos sobre confiabilidade durante a interoperabilidade de SoS (ANDREWS et al., 2013; GARRO; TUNDIS, 2014; INGRAM et al., 2014; TIANJIAN; XIN, 2014; RAMBIKUR; GIAMMARCO; O'HALLORAN, 2017; HYUN et al., 2020; FERREIRA; NAKAGAWA; SANTOS, 2021; IMAMURA et al., 2021; SPERANZA; VISOLI; CARROMEU, 2022) foram definidos dois cenários abstratos de tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP e estão apresentados na Seção 4.4. Posteriormente, a adequabilidade dos elementos BPMN utilizados nesses cenários abstratos foi avaliada com o apoio de especialistas em BPMN e está apresentada na Seção 4.5.

Considerando os resultados obtidos na avaliação, os cenários abstratos e os elementos BPMN identificados anteriormente foram refinados. Em seguida, o metamodelo do PoP foi estendido (Seção 4.6) com a incorporação das metaclasses da especificação OMG (Object Management Group, 2013) que representam os elementos BPMN utilizados para o tratamento de exceções na interoperabilidade de PoP. O metamodelo estendido do PoP é utilizado como base para a extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS por meio das diretrizes propostas neste trabalho e descritas no próximo capítulo. Por fim, a Seção 4.7 discorre sobre as considerações finais deste capítulo.

4.2 Cenários Concretos

Inicialmente, foram modelados cinco cenários concretos nos domínios de resgate, saúde suplementar, educacional e agronegócio com o intuito de identificar elementos BPMN de tratamento de exceções que poderiam ser utilizados no contexto de PoP para fornecer subsídios para a concepção dos cenários abstratos de tratamento de exceções

durante o envio de mensagens e o recebimento de retorno de mensagens entre processos constituintes de PoP.

O primeiro cenário concreto modelado foi no domínio de resgate (localizado na Seção C.1 do Apêndice C), com base no estudo de caso de um estudo primário (ANDREWS et al., 2013) do mapeamento sistemático (MOLINA; PAIVA; CAGNIN, 2022) conduzido no âmbito deste trabalho. Esse estudo primário foi selecionado, pois apresenta uma descrição mais detalhada de um SoS, cujo PoP correspondente poderia ser facilmente abstraído. No entanto, a partir do modelo PoP resultante, observou-se que apenas cenários concretos baseados em descrições de estudos de casos de trabalhos publicados na literatura não seriam suficientes para obter cenários concretos mais complexos e detalhados e que poderiam representar PoP reais. Então, decidiu-se modelar PoP reais de uma empresa de saúde suplementar (apresentado na Seção 2.4.2 do Capítulo 2), da Embrapa Gado de Corte (apresentado na Seção C.3 do Apêndice C), sendo uma organização parceira da Facom, da Agência de Tecnologia da Informação e Comunicação (AGETIC) da UFMS (um PoP apresentado na Seção 4.2.1 deste Capítulo e o outro PoP apresentado na Seção 5.3 do Capítulo 5), responsável pelo desenvolvimento e evolução de todos os sistemas de software utilizados pelos setores da universidade, como o SISCAD (Sistema Acadêmico de Graduação), o SIGPOS (Sistema de Gestão de Pós-Graduação), o RI (Repositório Institucional) e o AVA (Ambiente Virtual de Aprendizagem).

Para facilitar a identificação dos PoP da Embrapa Gado de Corte e da Agetic que poderiam ser de interesse da pesquisa, foi realizada uma reunião preliminar com o primeiro órgão no dia 22/06/2022 e com o segundo órgão em 18/08/2022 para explicar o objetivo da pesquisa e identificar PoP em potencial para serem modelados durante este trabalho. A reunião com a Embrapa contou com a participação do Diretor de TI e na reunião com a Agetic estiverem presentes quatro analistas de sistemas, indicados pelo diretor do órgão. Na reunião com a Embrapa Gado de Corte foi identificado um PoP e decidiu-se modelá-lo para representar a interoperabilidade entre os processos constituintes envolvidos, bem como as possíveis falhas e como contorná-las. Na reunião com a Agetic foram levantados alguns PoP e decidiu-se modelar o PoP Repositório Institucional e o PoP Educacional-UFMS devido à quantidade de iterações com diversos constituintes que podem apresentar falhas.

Ambos órgãos não possuem documentação dos seus processos de negócios. Nessa primeira reunião, o modelo PoP que seria produzido para cada órgão foi definido como contrapartida pela participação na pesquisa.

Os cenários concretos foram modelados na ferramenta PoP *Modeler* (Seção 2.4.3, capítulo 2), conforme as visões do PoP e regras de modelagem do método M-PoP (Seção 2.4.1, capítulo 2). Em particular, os elementos BPMN de tratamento de exceções utilizados estão em conformidade com aqueles apresentados na Seção 2.3.1 do Capítulo 2.

A próxima seção apresenta o cenário concreto do PoP Repositório Institucional da UFMS.

4.2.1 Cenário concreto: PoP Repositório Institucional da UFMS

Os cenários concretos da Agetic foram modelados com base em informações reais fornecidas por especialistas na área de tecnologia da informação. Para isso, foram realizados três encontros remotos via Google Meet com quatro analistas em TI. No primeiro encontro, além de identificar quais sistemas possuem características de um SoS, também foram levantadas informações sobre o funcionamento desses sistemas que se comunicam por meio de API interna e externa. Foi discutido também o quanto seria importante ter uma modelagem completa da interoperabilidade que ocorrem entre esses sistemas, uma vez que não havia uma modelagem existente, além de representar as possíveis falhas que podem ocorrer durante a interoperabilidade entre eles. No segundo encontro foi apresentada a modelagem do PoP Repositório Institucional e do PoP Educacional-UFMS segundo as informações coletadas. Em seguida, os analistas da Agetic sugeriram algumas mudanças. Após o segundo encontro, o PoP Repositório Institucional, descrito nesta seção, e o PoP Educacional-UFMS, apresentado na Seção 5.3 do Capítulo 5, foram refinados e aprimorados com especialistas em BPMN e PoP. Por fim, no terceiro e último encontro, foi apresentada a versão final desses dois PoP importantes no contexto educacional. A versão final foi disponibilizada aos analistas em 20/12/2022 após esse terceiro encontro.

O PoP do Repositório Institucional da UFMS (RI-UFMS) tem como principal missão a inserção de trabalhos intelectuais dos alunos de graduação e pós-graduação, assim como dos servidores da UFMS (pesquisadores, professores e técnicos) no repositório. Os constituintes envolvidos neste PoP são o SISCAD, SIGPOS, Repositório Institucional (RI), um constituinte de obtenção e análise de metadados da UFMS e o Lattes.

No caso dos trabalhos de graduação e pós-graduação, após os alunos acessarem o SISCAD (graduação) ou o SIGPOS (pós-graduação) e realizarem a submissão da produção intelectual, incluindo metadados e o arquivo PDF, ocorre um processo de autenticação com os bancos de dados BD-SISCAD e BD-SIGPOS. Se houver falha durante o envio da autenticação, um elemento de erro será anexado na borda da tarefa correspondente que falhou. Em seguida, será lançada uma exceção para “Realizar o tratamento da exceção de envio” representada por um subprocesso, permitindo que o fluxo volte para a execução normal do processo constituinte. Da mesma forma, ao receber a autenticação dos bancos de dados BD-SISCAD e BD-SIGPOS nos constituintes SIGPOS e SISCAD, respectivamente, uma tarefa de recebimento será executada, e se ocorrer alguma falha nesse recebimento, um elemento de erro será anexado na borda do subprocesso correspondente. Posteriormente, será lançada uma exceção para “Realizar o tratamento da exceção de recebimento”.

Ambas exceções, de envio ou recebimento, permitem lidar com situações em que ocorrem falhas durante a autenticação, garantindo que o fluxo do processo constituinte que falhou seja contornado e retorne à execução normal. Após o envio das produções intelectuais pelos sistemas SIGPOS e SISCAD, o BD-SIGPOS e o BD-SISCAD realizam o envio automático das produções para o Repositório Institucional da UFMS. Essa automação 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. A Figura 19 apresenta a Visão Geral do PoP, enquanto a Figura 18 mostra a Visão Detalhada da Missão “Publicação de trabalhos intelectuais dos alunos e servidores”.

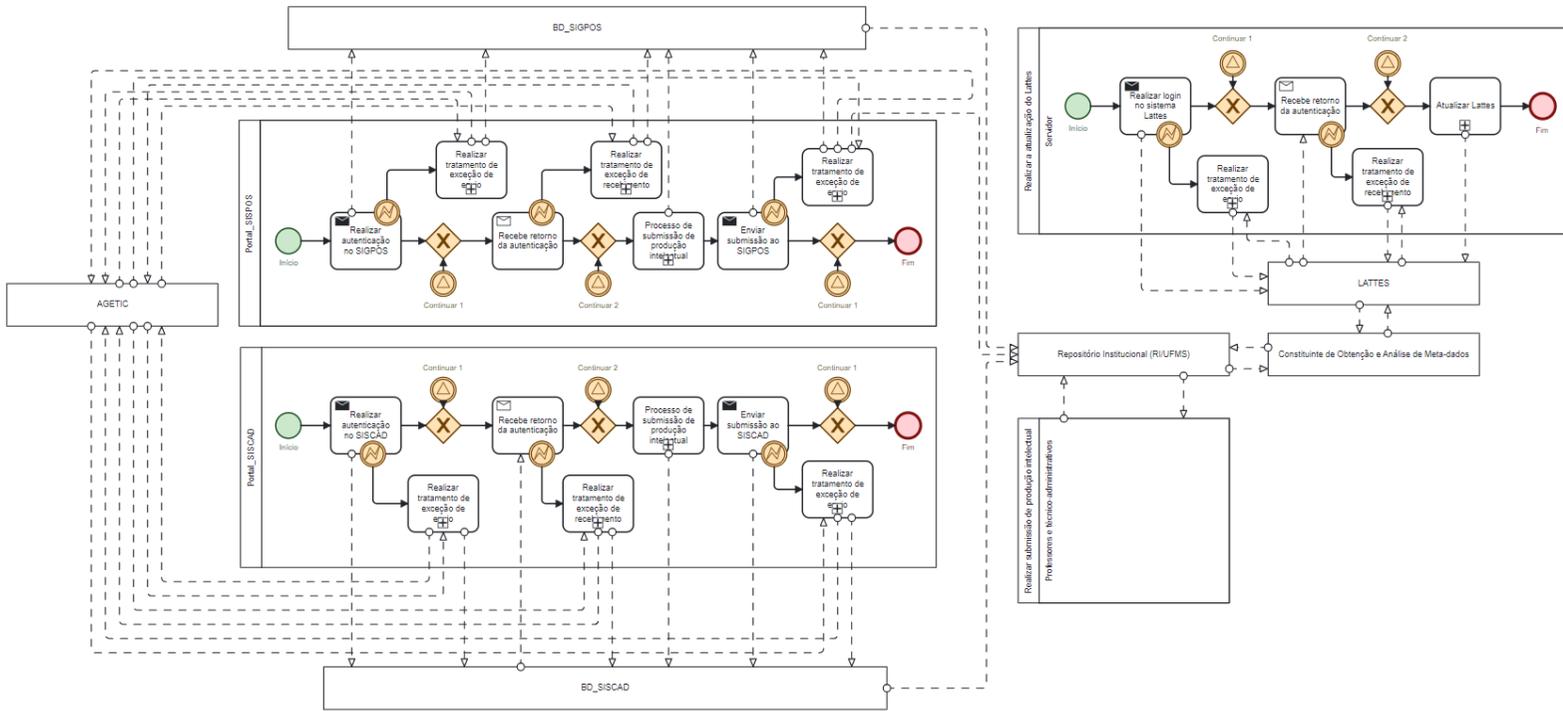


Figura 18 – Visão Detalhada da Missão “Publicação de trabalhos intelectuais dos alunos e servidores” do PoP Repositório Institucional da UFMS

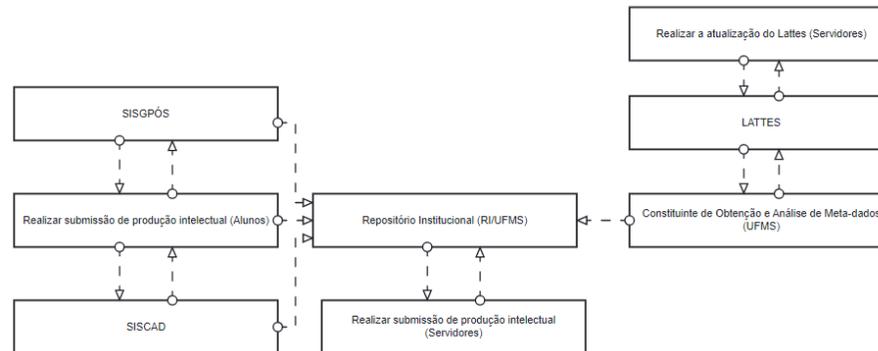


Figura 19 – Visão Geral do PoP Repositório Institucional da UFMS

4.3 Elementos BPMN identificados a partir dos cenários concretos

Após a modelagem dos cinco cenários concretos, foi feita uma análise em cada Modelo Detalhado de Missão do PoP elaborado para identificar todos os elementos BPMN utilizados para representar o tratamento de exceções durante a interoperabilidade entre processos constituintes do PoP. A partir dessa análise, seis elementos BPMN foram identificados: evento intermediário de mensagem, evento temporal, evento de erro, evento de cancelamento, evento de sinal e evento de conector. Esses elementos estão ilustrados na Figura 20.

Eventos	Eventos de Início			Eventos Intermediários			Eventos de Fim
	Eventos de Alto Nível	Evento que, quando ocorre, provaca a Interrupção de um Sub-Processo	Evento que, quando ocorre, não provaca a Interrupção de um Sub-Processo	Captura	Interrompe a execução da instância em uma divisão ou compartimento	Não interrompe a execução da instância em uma divisão ou compartimento	
Simple							
Mensagem							
Temporal							
Erro							
Cancelamento							
Sinal							
Conceter							
Tipos de Tarefas							
Tarefa de envio							
Tarefa de recebimento							
Tarefa manual							
Subprocesso							
Desvio							
Desvio exclusivo							

Figura 20 – Elementos BPMN de tratamento de exceções utilizados nos cenários concretos

4.4 Cenários Abstratos

A partir do conhecimento obtido com a modelagem dos cenários concretos e com base em trabalhos que discutem a confiabilidade de SoS (ALEXANDER; HALL-MAY; KELLY, 2004; ANDREWS et al., 2013; BATISTA, 2013; GARRO; TUNDIS, 2014; INGRAM et al., 2014; TIANJIAN; XIN, 2014; BIANCHI; SANTOS; FELIZARDO, 2015; RAMBIKUR; GIAMMARCO; O'HALLORAN, 2017; NCUBE; LIM, 2018; BOSSUYT; O'HALLORAN; ARLITT, 2018; CADAVID; ANDRIKOPOULOS; AVGERIOU, 2020; HYUN et al., 2020; FERREIRA; NAKAGAWA; SANTOS, 2021; IMAMURA et al., 2021), foram definidos dois cenários abstratos de tratamento de exceções para representar diversas situações de falhas que ocorrem durante a interoperabilidade (ou seja, no envio e no recebimento de mensagem) entre processos de negócio distintos que compõem um PoP (MOLINA et al., 2023). Com o intuito de facilitar o reúso desses cenários na modelagem de qualquer PoP, cada cenário abstrato definido é representado por meio de um subprocesso BPMN.

Os subprocessos contraídos (*collapsed subprocesses*) “Realizar tratamento de exceção no envio” e “Realizar tratamento de exceção no recebimento”, que representam os cenários abstratos elaborados neste trabalho, são exibidos na Figura 21. Essa figura apresenta um exemplo de interoperabilidade entre processos constituintes de um PoP dirigido ¹, utilizando uma tarefa de envio de requisições (mensagens) e uma tarefa de recebimento de retorno de requisições. O evento de erro é anexado à borda de cada tarefa para representar que ocorreu uma ou mais falhas durante a interoperabilidade.

O tratamento de exceções tanto no contexto de envio quanto de recebimento de mensagens estão relacionados aos requisitos de confiabilidade, mais precisamente de tolerância a falhas que precisam ser considerados em nível de negócio e, conseqüentemente, em nível técnico.

Os subprocessos expandidos (*expanded subprocesses*) “Realizar tratamento de exceção no envio” e “Realizar tratamento de exceção no recebimento”, correspondentes aos cenários abstratos definidos, são apresentados em detalhes nas próximas subseções.

4.4.1 Cenário abstrato de tratamento de exceções durante o envio de requisições

A Figura 22 apresenta a modelagem do subprocesso “Realizar tratamento de exceção de envio”. Essa figura representa recomendações para realizar o tratamento de exceções quando ocorre alguma falha nas tarefas de envio de requisições do processo constituinte dominante para os demais processos constituintes.

¹ Refere-se quando os processos constituintes são controlados por uma autoridade central, como um processo dominante, visando alcançar as missões do PoP e, conseqüentemente, do SoS

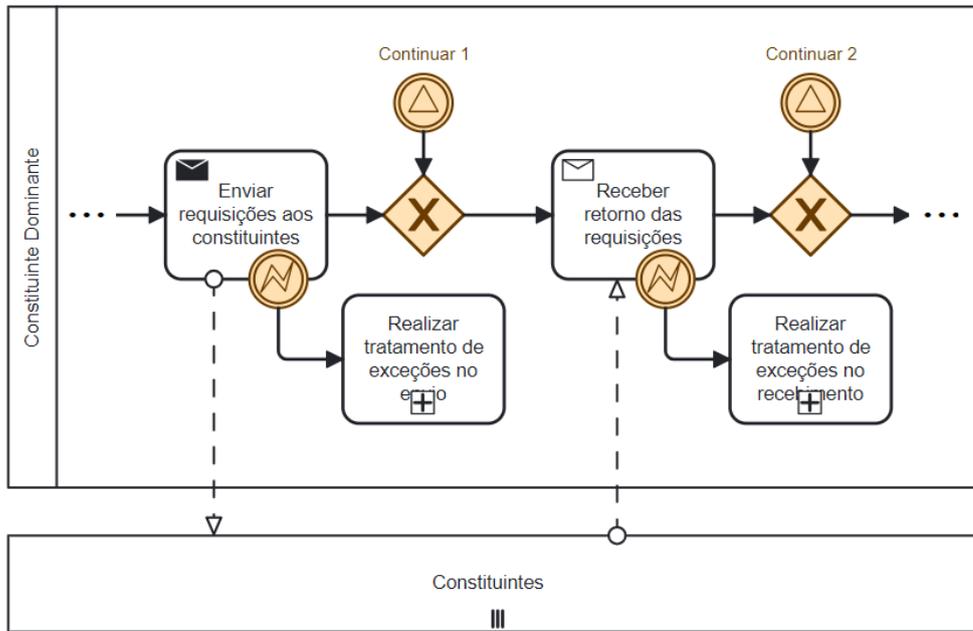


Figura 21 – Exemplo de interoperabilidade entre processos constituintes durante o envio de requisições e o recebimento de retorno de requisições

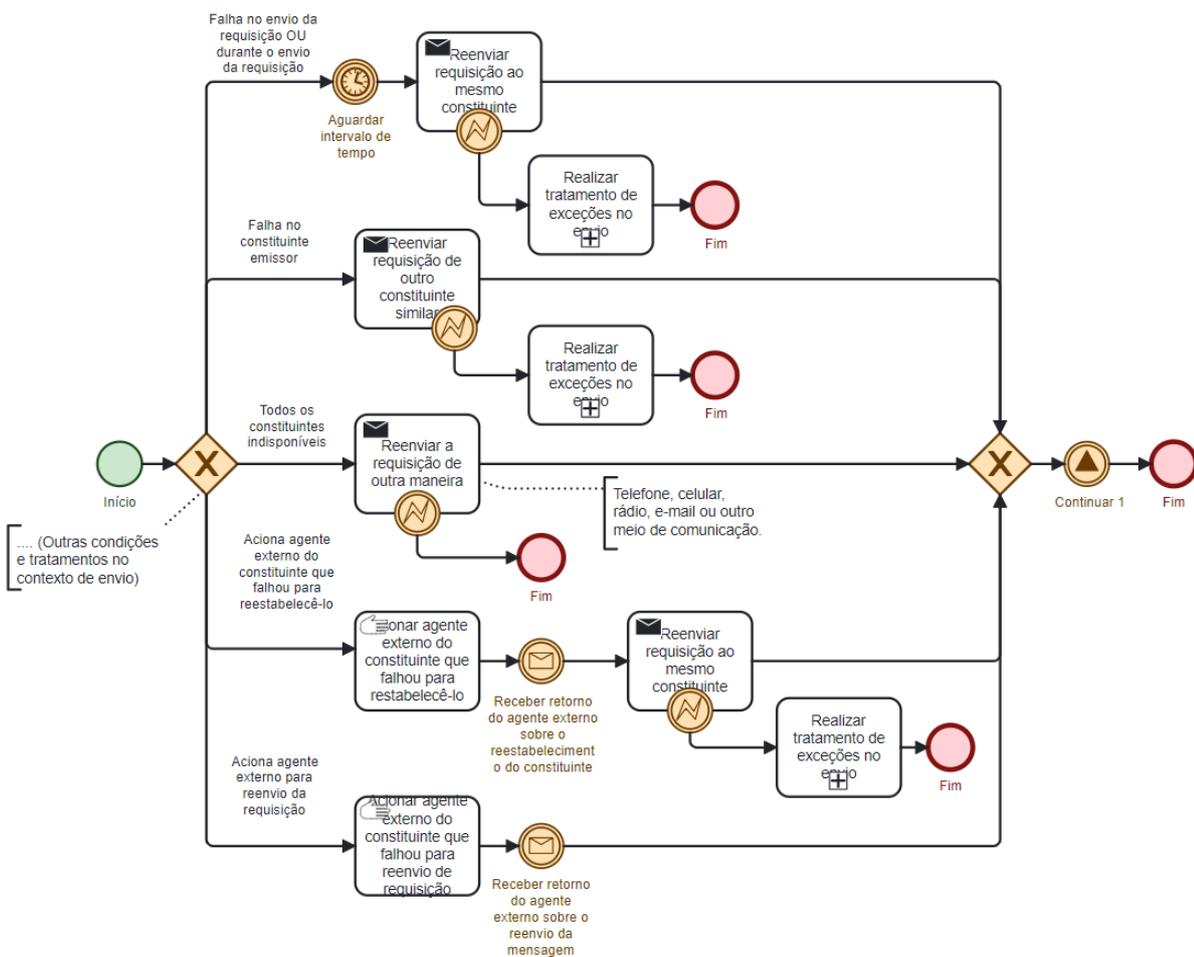


Figura 22 – Cenário abstrato de tratamento de exceções no envio de requisições

Conforme mencionado anteriormente, este subprocesso contém diversas situações de tratamento de exceções identificadas na literatura e na modelagem de cenários concretos no envio de mensagens no contexto de PoP. Primeiramente, é representado um evento de início e, posteriormente, um desvio exclusivo para escolher o tratamento desejado, sendo eles:

- (i) Se houver falha no envio ou durante o envio de uma requisição, é necessário aguardar um intervalo de tempo para “Reenviar a mensagem ao mesmo constituinte”. Se houver falha, há um evento de erro de borda associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no envio” para tratar a exceção (chamada recursiva ao subprocesso em questão) para a falha ser tratada de outra maneira;
- (ii) Se houver falha no constituinte emissor, será necessário “Reenviar requisição a outro constituinte similar” que possui a mesma capacidade e finalidade para receber a mensagem. Se houver falha, há um evento de erro de borda associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no envio” para a falha ser tratada de outra maneira;
- (iii) Pode ser necessário “Acionar agente externo do constituinte que falhou para restabelecê-lo” e, após o retorno do agente externo, será necessário “Reenviar requisição ao mesmo constituinte”. Se houver falha, há um evento de erro de borda associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no envio” para a falha ser tratada de outra maneira;
- (iv) Se todos os constituintes estiverem indisponíveis, será necessário “Reenviar a requisição de outra maneira”, por exemplo, por ligação telefônica, rádio, e-mail ou outro meio de comunicação; e
- (v) “Acionar agente externo do constituinte que falhou para reenvio da requisição” e, logo após, haverá um retorno do agente externo sobre o reenvio da requisição.

O subprocesso “Realizar tratamento de exceção de envio” será utilizado de acordo com uma determinada situação de falha ocorrida. Além disso, caso ocorra falha no fluxo de execução de um determinado tratamento de exceção, é possível utilizar outro tratamento de exceção desejado ou o mais apropriado para, posteriormente, seguir a execução normal do fluxo do PoP.

4.4.2 Cenário abstrato de tratamento de exceções durante o recebimento de retorno de requisições

A Figura 23 ilustra a modelagem do subprocesso “Realizar tratamento de exceções no recebimento”. Essa figura representa recomendações para realizar o tratamento de

exceções quando ocorre alguma falha nas tarefas de recebimento de retorno de requisições pelo processo constituinte dominante ou pelos demais processos constituintes.

Salienta-se que existe uma distinção no tratamento de exceções ao constituinte dominante devido à sua importância no gerenciamento de todo o fluxo de execução do PoP, não sendo possível a sua substituição por outro constituinte similar diferentemente dos demais constituintes que podem ser substituídos por outros com a mesma capacidade.

Conforme exposto anteriormente, este subprocesso contém diversas situações de tratamento de exceções identificadas na literatura e na modelagem de cenários concretos no recebimento de retorno de requisições no contexto de PoP.

As quatro primeiras situações tratam de falhas durante o recebimento de retorno da requisições pelo constituinte dominante. As demais situações abordam falhas durante o recebimento de retorno da requisições pelos demais constituintes. Primeiramente, é representado um evento de início e, posteriormente, um desvio exclusivo para escolher o tratamento desejado, sendo eles:

- (i) Se houver “Falha ao receber retorno da requisição pelo constituinte dominante”, o constituinte que tentou enviar o retorno da requisição ao constituinte dominante será notificado sobre a falha (representado por evento intermediário de recebimento). Caso a notificação atrase ou não seja recebida, será necessário realizar o tratamento de exceção que está associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no recebimento”. Após isso, será necessário “Reenviar retorno da requisição ao dominante pelo mesmo constituinte”. Se houver falha nesse reenvio de retorno, há um evento de erro de borda associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no recebimento” para a falha ser tratada de outra maneira;
- (ii) Também pode-se “Acionar outro constituinte similar àquele que falhou para reenviar retorno da requisição ao constituinte dominante” (tarefa manual) e, em seguida, é necessário “Reenviar retorno da requisição ao constituinte dominante”. Se houver falha nesse reenvio de retorno, há um evento de erro de borda associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no recebimento” para a falha ser tratada de outra maneira;
- (iii) também pode-se “Acionar agente externo do constituinte que falhou para restabelecê-lo para reenviar retorno da requisição” (tarefa manual) e, logo após, terá um retorno do agente externo sobre o restabelecimento do constituinte. Posteriormente, é necessário “Reenviar retorno da requisição ao dominante pelo mesmo constituinte”. Se houver falha nesse reenvio de retorno, há um evento de erro de borda associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no recebimento” para a falha ser tratada de outra maneira;

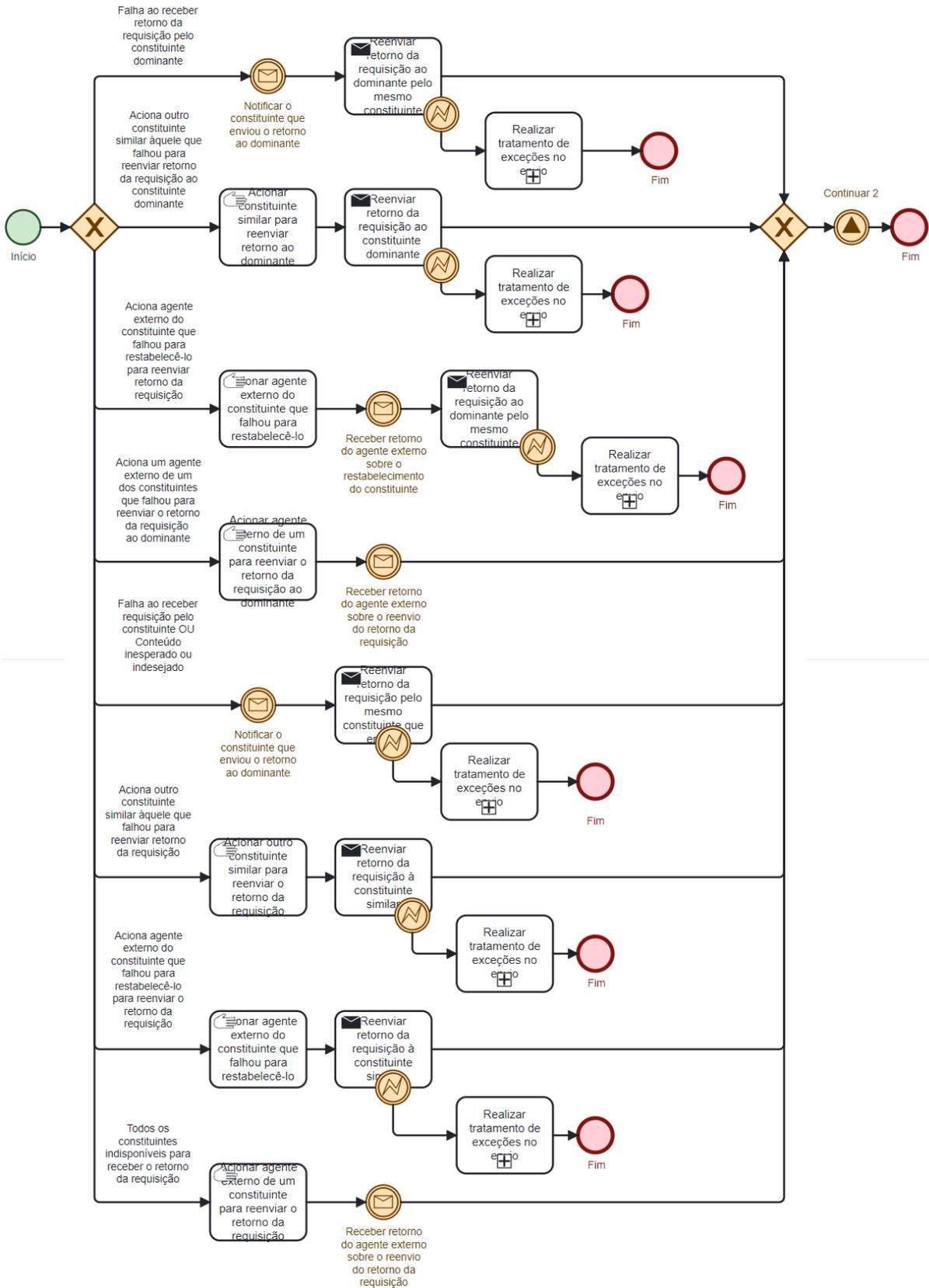


Figura 23 – Cenário abstrato de tratamento de exceções no recebimento de retorno de requisições

- (iv) Se houver “Falha ao receber retorno de requisição pelo constituinte ou conteúdo inesperado, ou indesejado”, o constituinte que enviou o retorno da requisição será

notificado sobre a falha (representado por uma tarefa de recebimento). Caso o retorno atrase ou não seja recebido, será necessário realizar um tratamento de exceção no recebimento para esta situação. Após isso, será necessário “Reenviar retorno da requisição pelo mesmo constituinte”. Se houver falha nesse reenvio de retorno, há um evento de erro de borda associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no recebimento” para a falha ser tratada de outra maneira;

- (v) Também pode-se “Acionar outro constituinte similar para reenviar o retorno da requisição” (tarefa manual) e, em seguida, é necessário “Reenviar retorno da requisição de outro constituinte”. Se houver falha nesse reenvio de retorno, há um evento de erro de borda associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no recebimento” para a falha ser tratada de outra maneira;
- (vi) Também pode-se “Acionar agente externo do constituinte que falhou para restabelecê-lo” (tarefa manual) e, em seguida, é necessário “Reenviar retorno da requisição pelo mesmo constituinte que falhou”. Se houver falha nesse reenvio de retorno, há um evento de erro de borda associado ao subprocesso “Realizar tratamento de exceção no recebimento” para a falha ser tratada de outra maneira;
- (vii) Também pode-se “Acionar agente externo de um constituinte para reenviar o retorno da requisição” quando todos os constituintes estiverem indisponíveis (exceto o constituinte dominante). Nesta situação, o próprio agente externo de um dos constituintes irá reenviar o retorno de requisição e, logo após, terá uma mensagem do agente externo sobre o reenvio do retorno da requisição; e
- (viii) Também pode-se “Acionar agente externo de um constituinte para reenviar o retorno da requisição” quando todos os constituintes estiverem indisponíveis. Nessa situação, o próprio agente externo de um dos constituintes irá reenviar o retorno de requisição e, logo após, terá uma mensagem do agente externo sobre o reenvio do retorno da requisição.

O subprocesso “Realizar tratamento de exceção no recebimento” será utilizado de acordo com uma determinada situação que ocorreu. Além disso, caso ocorra falha no fluxo de execução de um determinado tratamento de exceção, é possível utilizar outro tratamento de exceção desejado ou o mais apropriado para, posteriormente, seguir a execução do fluxo do PoP.

Salienta-se que os elementos da notação BPMN adotados para o desenvolvimento dos cenários abstratos foram os mesmos utilizados na modelagem dos cenários concretos, apresentados na Figura 20 (Seção 4.3).

4.5 Análise dos Cenários Abstratos

Esta seção descreve em detalhes o planejamento, a execução e os resultados obtidos na análise dos cenários abstratos de tratamento de exceções durante a interoperabilidade de processos constituintes de PoP.

4.5.1 Planejamento

Inicialmente, o estabelecimento da avaliação dos cenários abstratos de tratamento de exceções foi baseado na abordagem **GQM** (*Goal-Question-Metric*) (BASILI, 1992) e estruturado com base nos processos de Kasunic (KASUNIC, 2005). O **objetivo** dessa avaliação foi analisar a modelagem de dois cenários abstratos de tratamento de exceções durante o envio e o recebimento de requisições, **com a finalidade de** observar se a modelagem de cada cenário abstrato é adequada **em relação à** representação do tratamento de exceções durante a interoperabilidade entre os processos que compõem o PoP, **sob o ponto de vista de** especialistas em BPMN.

Foi elaborado um questionário no Google *Forms* (Apêndice D) como instrumento para caracterizar o perfil dos participantes (ou seja, localidade de 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) e para coletar os dados resultantes da análise de cada cenário abstrato com base em uma escala de Likert². Cada cenário abstrato foi analisado considerando a adequação dos elementos BPMN e dos rótulos utilizados na modelagem. O questionário contém uma questão para os participantes poderem justificar, caso não concordem totalmente com a modelagem do cenário abstrato, e sugerir melhorias. Além disso, inclui um termo de consentimento livre e esclarecido.

Por questões de otimização de recursos humanos, o questionário foi aplicado também para a avaliação de sete cenários de interoperabilidade entre processos constituintes definidos por Costa (2024).

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 convites na rede social *LinkedIn* a esse público. Os contatos do *LinkedIn* foram levantados por meio de busca utilizando o termo “BPMN”. Além disso, co-autores de trabalhos relacionados à BPMN dos especialistas conhecidos foram selecionados por meio da plataforma *Lattes*. Ao todo foram enviados 35 convites diretos. Visando ter o maior número possível de contribuições para esta pesquisa, foi solicitado aos especialistas selecionados para estender

² Discordo totalmente, discordo, ainda não estou decidido, concordo e concordo totalmente.

o convite a outras pessoas especialistas em BPMN. Porém, não foi possível quantificar o número de convites indiretos.

As principais ameaças à validade da avaliação desta pesquisa exploratória estão relacionadas a: (i) *envio de convite a contatos dos autores*: para mitigar essa ameaça, foi realizado um *snowballing* para descobrir mais especialistas a partir de rede pessoal profissional e por meio de artigos científicos publicados na área; e (ii) *cobertura das regiões e nacionalidades representadas pelos especialistas e número reduzido de especialistas*: para mitigar essa ameaça é necessário conduzir investigações futuras que estabeleçam estratégias para incluir especialistas das demais regiões brasileiras e também de outros países.

4.5.2 Piloto e Resultados

Antes de iniciar a execução da análise dos cenários abstratos, um piloto foi realizado com quatro pessoas com conhecimento prévio em BPMN, selecionadas por conveniência. Elas concordaram em participar e contribuir com o piloto, fornecendo sugestões de melhoria para o questionário elaborado. O questionário preliminar foi enviado em 30/01/2023 e o prazo para receber as respostas encerrou em 05/02/2023.

Foram recebidos feedbacks em relação à modelagem do tratamento de exceções, os quais foram importantes para aprimorar os cenários abstratos e suas descrições. Os participantes do piloto pontuaram duas dúvidas. A primeira dúvida foi “*se ao realizar o tratamento de exceções durante o envio de requisições ou recebimento de retorno, ele será chamado infinitamente ou se haverá um limite ou condição de parada*”. Para eliminar essa dúvida, a escrita dos cenários foi aprimorada em relação às demais condições de falhas para o tratamento de exceções. Por exemplo, no caso de uma falha durante o envio de requisição do constituinte A para o B, é necessário realizar o tratamento de exceção. No entanto, se esse tratamento de exceção falhar, outra condição de falha disponível com um tratamento de exceção apropriado poderá ser escolhida. A segunda dúvida foi “*qual tipo de gateway inclusivo ou exclusivo seria apropriado para representar as condições de falhas identificadas?*”. Ao analisar essa dúvida, verificou-se que o desvio exclusivo é o mais adequado para representar as condições de falhas para o tratamento de exceções, ao definir um caminho único a ser percorrido. No entanto, caso esse caminho não seja adequado ou ocorra alguma falha, será necessário escolher outra condição para possivelmente continuar o fluxo de execução do PoP.

Além dos feedbacks supracitados, os participantes do piloto informaram que o tempo médio para responder o questionário variou de 35 minutos a uma hora. Essa informação foi adicionada no convite de participação da pesquisa. Além disso, sugeriram: (i) incluir o nível de escolaridade “Pós-Graduação - Nível Especialização”; (ii) melhorar a questão relacionada a experiência em BPMN para esclarecer se seria apenas acadêmica, profissional ou ambas (essa sugestão ajudou a reformular a pergunta, deixando claro que

a experiência diz respeito ao tempo de uso da notação, independentemente de ser no âmbito acadêmico ou profissional); e (iii) revisar o uso apropriado do evento “conector” nas modelagens, 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.

4.5.3 Execução

A distribuição oficial do questionário para análise dos cenários ocorreu em 24/02/2023 por meio de um convite via e-mail e *LinkedIn* para os 35 especialistas identificados para participar da pesquisa. O questionário ficou aberto até 09/03/2023. O conteúdo do questionário está disponível no Apêndice D. Após o encerramento do prazo, sete (20%) dos 35 especialistas convidados responderam o questionário.

4.5.4 Perfil dos Participantes

Com base nas respostas das perguntas relacionadas ao perfil dos participantes, há pelo menos um especialista dos estados do Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina, além de dois especialistas no estado do Rio de Janeiro, conforme pode ser observado na Figura 24.

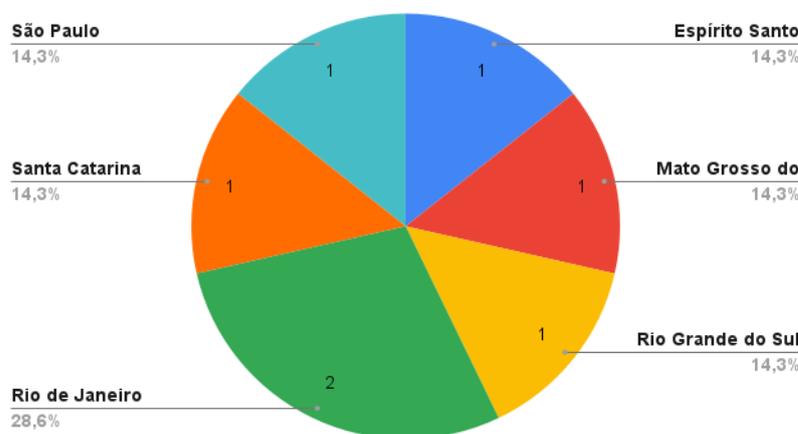


Figura 24 – Localização geográfica dos especialistas

Conforme a Figura 25, quatro dos sete especialistas possuem graduação. Dois especialistas estão cursando atualmente pós-graduação, sendo um ao nível *lato sensu* e o outro ao nível *stricto sensu*. Apenas um especialista possui pós-graduação completa ao nível *stricto sensu*.

A maioria dos participantes possui formação em Ciência da Computação e Tecnologia da Informação, cada uma com duas respostas. As demais formações estão distribuídas em Administração, Jogos Digitais e Sistemas de Informação com uma resposta cada, conforme apresentado na Figura 26.

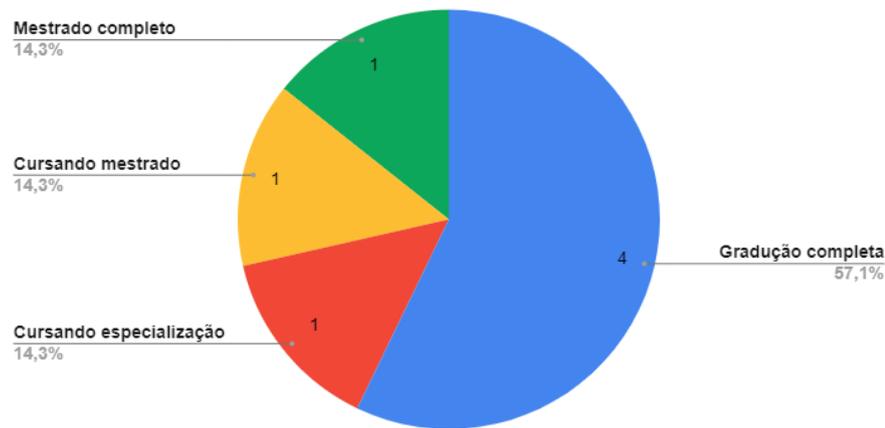


Figura 25 – Nível de escolaridade dos especialistas



Figura 26 – Área de formação dos especialistas

Além disso, observou-se que a maioria dos especialistas ocupa cargos de analistas e consultores nas áreas de processos, requisitos e negócios, todos relacionados à Tecnologia da Informação, conforme indicado no gráfico da Figura 27.

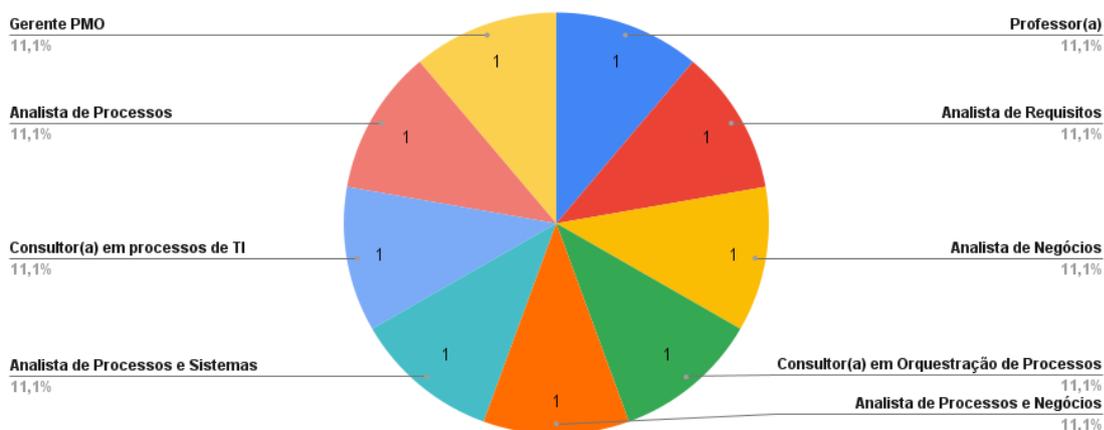


Figura 27 – Cargo ou função dos especialistas

Quatro dos sete especialistas consideram seu conhecimento na notação BPMN

como sendo muito bom, enquanto outros três o classificam como excelente, como ilustrado na Figura 28.

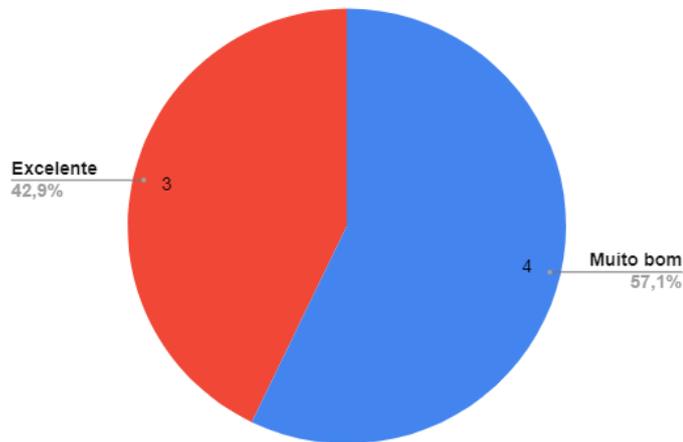


Figura 28 – Conhecimento da notação BPMN pelos especialistas

Já em relação ao tempo de uso da notação BPMN, seja em ambiente acadêmico ou profissional, constatou-se que o tempo de três especialistas varia de um ano e meio a quatro anos de experiência. Por outro lado, os demais especialistas têm uma vasta experiência, variando de 10 a 16 anos de uso da notação, conforme exibido na Figura 29.

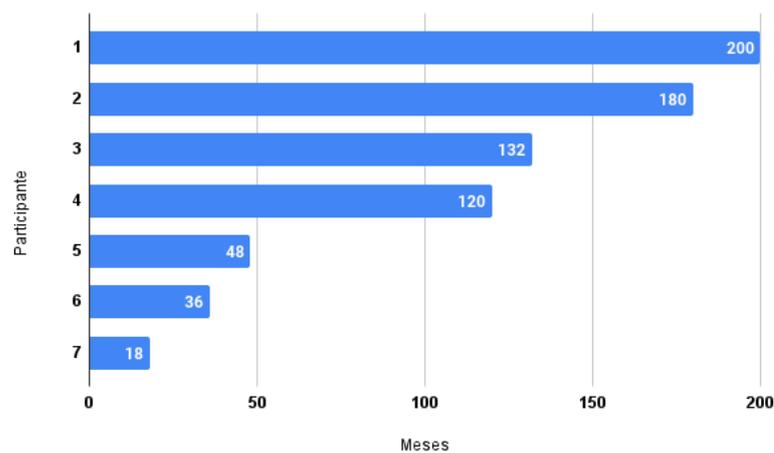


Figura 29 – Tempo de uso da notação BPMN

Além disso, os especialistas também foram questionados se já utilizaram a notação BPMN para modelar a comunicação entre processos de negócios, bem como para modelar o tratamento de exceções em processos de negócios. Conforme Figura 30, todos os sete especialistas afirmaram ter utilizado a notação para modelar a comunicação entre processos de negócios. Além disso, cinco especialistas relataram ter utilizado a notação para modelar o tratamento de exceções em processos de negócios, enquanto dois especialistas não conseguiram lembrar se já o fizeram.

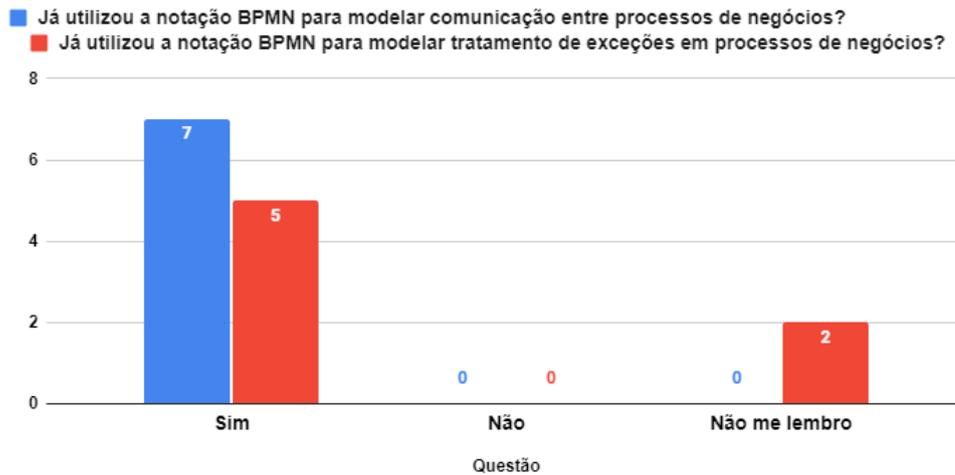


Figura 30 – Uso da BPMN para representar a comunicação entre processos e o tratamento de exceções

4.5.5 Resultados

Em geral, a maioria dos especialistas concordou com as modelagens que representam o tratamento de exceções no contexto de envio de requisição e de recebimento de retorno de requisição em PoP.

No que se refere ao cenário de tratamento de exceções no envio de requisições, quatro dos sete especialistas concordaram com os elementos da BPMN utilizados para representar esse cenário e um especialista concordou completamente. Apenas um especialista não expressou sua opinião e um especialista não estava decidido para responder, conforme apresentado na Figura 31.

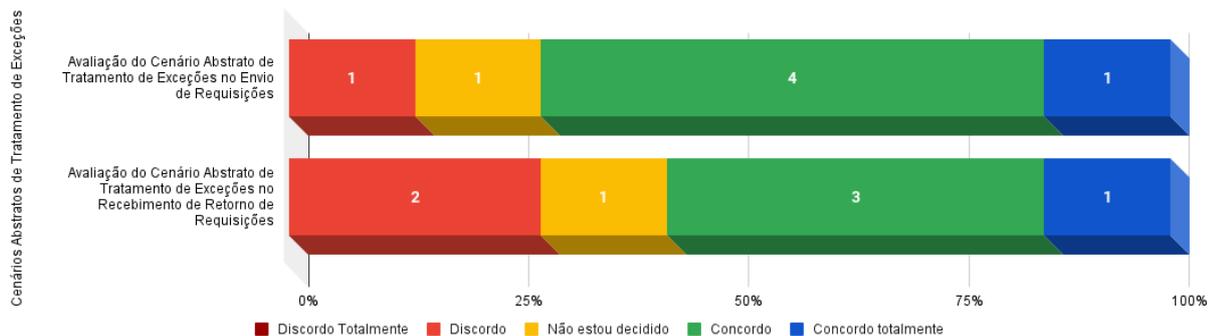


Figura 31 – Avaliação do cenário abstrato de tratamento de exceção no envio de requisições e no recebimento de retorno de requisições

Quanto ao tratamento de exceções no recebimento de retorno de requisições, como observado na Figura 31, três dos sete especialistas concordaram e um especialista concordou totalmente com os elementos da BPMN utilizados para representar o subprocesso correspondente. Por outro lado, dois especialistas discordaram e apenas um especialista não estava decidido para responder.

As recomendações e sugestões para a melhoria dos cenários, bem como dos elemen-

tos utilizados para representar ambos tratamentos de exceção são discutidas na próxima seção.

4.5.6 Discussões e Refinamento dos Cenários Abstratos e dos Elementos BPMN

Foram observados diferentes níveis de concordância em relação aos cenários de tratamento de exceções, abrangendo opiniões tanto favoráveis quanto desfavoráveis. Quanto às opiniões desfavoráveis, os especialistas forneceram sugestões para aprimorar os cenários propostos. A primeira sugestão foi substituir o evento de sinal (*signal*) pelo evento intermediário escalação (*escalation*) do tipo não-interromper (*not-interrupting*). Essa alteração foi aplicada tanto no tratamento de exceção de envio de requisições quanto no de recebimento de retorno, conforme ilustrado na Figura 32 (b).

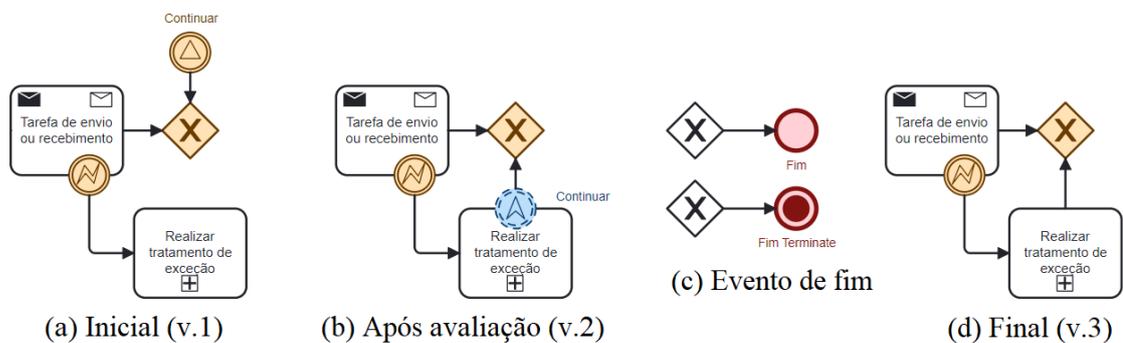


Figura 32 – Melhorias nos cenários abstratos

A razão para essa primeira sugestão é porque o evento intermediário de sinal do tipo interromper (*interrupt*) utilizado antes (Figuras 21, 22, 23 e 32 (a)) interromperia a execução do fluxo do processo de negócio assim que o tratamento de exceção fosse concluído; porém, resultaria no encerramento do processo dentro do subprocesso, sem retornar à execução do fluxo principal. Os especialistas explicaram que normalmente o evento intermediário do tipo sinal é utilizado para emitir alerta entre sistemas que compõem o mesmo processo, enquanto o evento intermediário do tipo escalação é utilizado para emitir alerta ou escalar processos.

Por isso, o evento intermediário do tipo escalação foi recomendado pelos especialistas para substituir o tipo sinal. Para validar a primeira sugestão, os modelos foram ajustados em ambos cenários abstratos, seguindo a recomendação mencionada, e a modelagem foi testada e validada na ferramenta Camunda³. Foi observado que os eventos intermediários (*signal* e *escalation*) do tipo não-interromper (*not-interrupting*) tiveram o mesmo comportamento em ambos cenários, porém optou-se pela melhoria dos cenários utilizando o evento recomendado pelos especialistas (ver Figura 32(b)).

³ <https://modeler.cloud.camunda.io/>

A segunda sugestão diz respeito ao evento de fim (*end event*) do subprocesso para ser substituído pelo evento de fim *terminate* (*terminate end event*), conforme mostrados na Figura 32(c). Segundo alguns especialistas, o evento de fim *terminate* encerrará completamente o subprocesso e retornará à execução do fluxo principal do processo de negócio. Por outro lado, o evento de fim também encerra o subprocesso de tratamento de exceções, mas dependendo do evento anexado à borda, pode não retornar à execução do fluxo principal. No entanto, caso não haja evento anexado à borda do subprocesso, a execução do processo retornará ao fluxo normal. Após verificar que o evento de fim *terminate* retorna ao fluxo principal do processo, foi decidido remover os eventos intermediários do tipo escalação e sinal anexados à borda (ver Figura 32 (d)) e de dentro dos subprocessos de tratamento de exceções na versão final e utilizar o evento de fim *terminate*. Por fim, para melhorar a clareza dos cenários abstratos, os autores eliminaram as redundâncias das chamadas recursivas dos cenários de tratamento de exceção durante o envio de requisições e durante o recebimento de retorno de requisições, trocaram o evento de fim pelo evento de fim *terminate* e incorporaram as melhorias explicitadas na Figura 32(d). As Figuras 33 e 34 apresentam os cenários abstratos refinados.

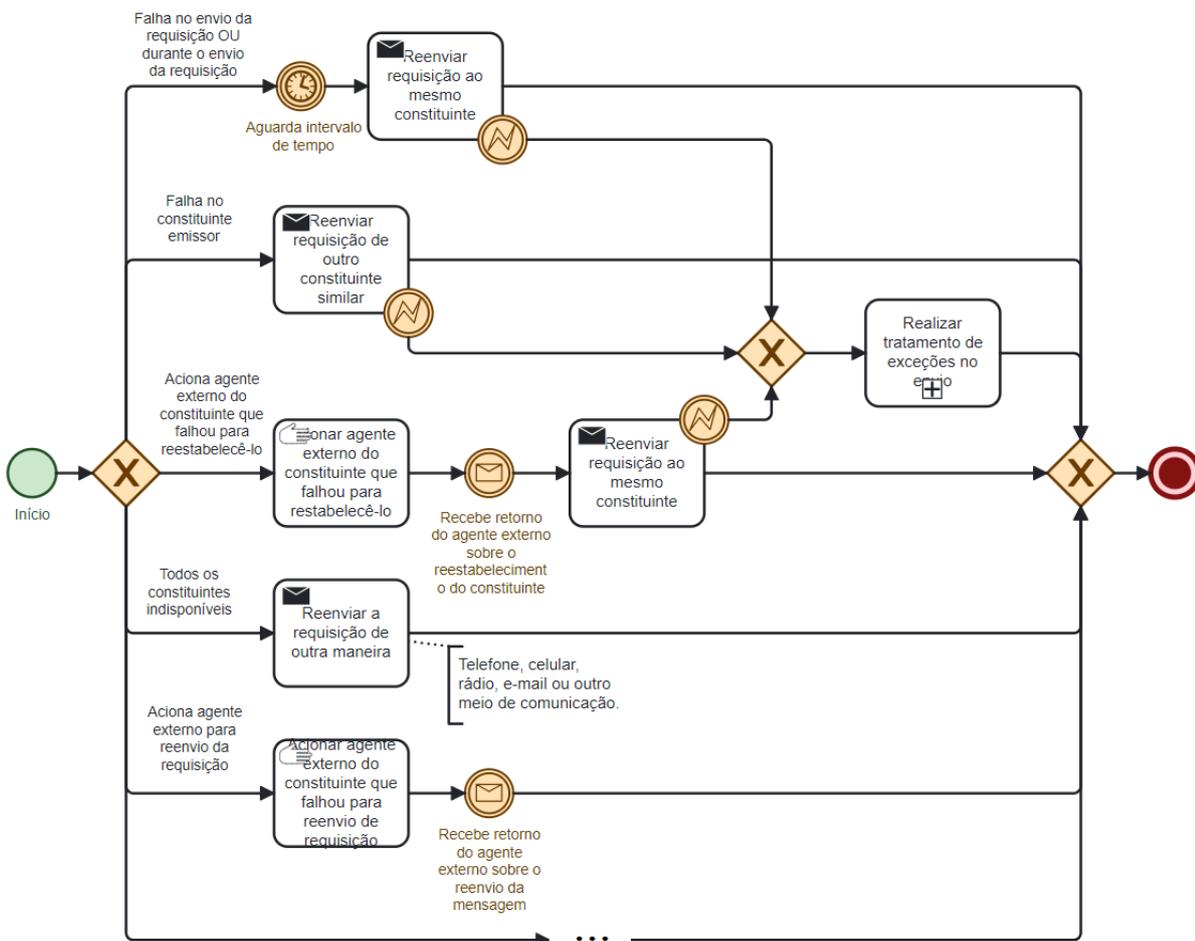


Figura 33 – Cenário de tratamento de exceções no envio de requisições refinado (subprocesso “Realizar tratamento de exceções no envio”)

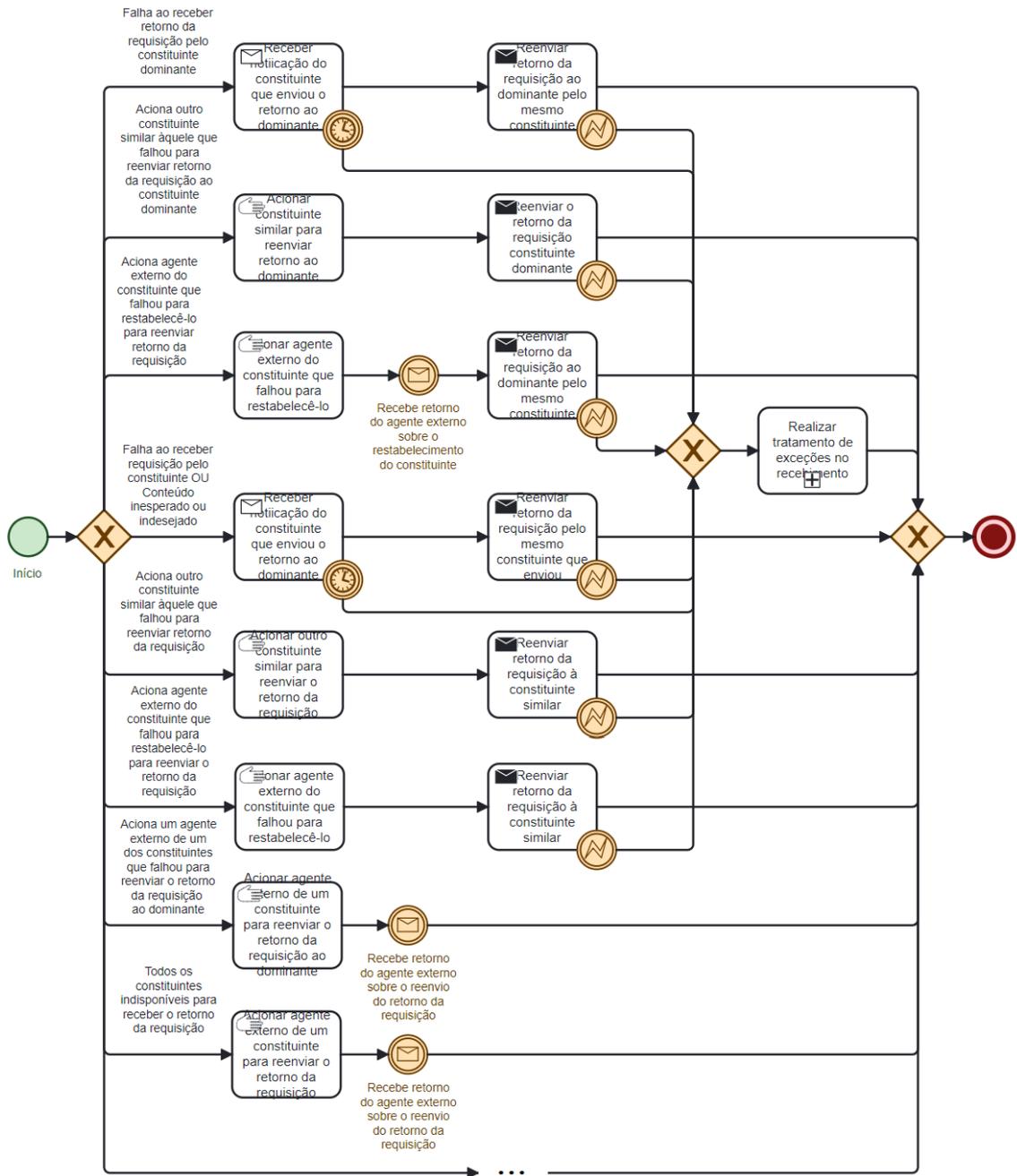


Figura 34 – Tratamento de exceções no recebimento de retorno de requisições refinado (subprocesso “Realizar tratamento de exceções no recebimento”)

A partir das melhorias adotadas nos cenários abstratos com base nas sugestões dos participantes da avaliação, observou-se que os seguintes elementos BPMN são fundamentais para representar de maneira adequada o tratamento de exceções no envio de requisições e no recebimento de retorno de requisições no contexto de PoP: tarefa de envio, tarefa de recebimento, tarefa manual, evento intermediário temporal, evento intermediário de mensagem de recebimento e evento de fim *terminate*, conforme apresentados na Figura 35.

Eventos	Eventos de Início			Eventos Intermediários				Eventos de Fim
	Eventos de Alto Nível	Evento que, quando ocorre, provaca a Interrupção de um Sub-Processo	Evento que, quando ocorre, não provaca a Ininterrupção de um Sub-Processo	Captura	Interrompe a execução da instância em uma divisão ou compartimento	Não interrompe a execução da instância em uma divisão ou compartimento	Lançamento	
Simple								
Mensagem								
Temporal								
Erro								
Fim								
Tipos de Tarefas								
Tarefa de envio								
Tarefa de recebimento								
Tarefa manual								
Subprocesso								
Desvios								
Desvio Exclusivo								

Figura 35 – Elementos BPMN utilizados após avaliação e refinamento dos cenários abstratos

4.6 Metamodelo estendido do PoP

O metamodelo do PoP foi estendido neste trabalho com a incorporação de elementos BPMN relacionados ao tratamento de exceções em PoP direcionados com o intuito de documentar a fonte de informação para a extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS.

O primeiro passo para a extensão do metamodelo foi descobrir o nome da classe de cada elemento BPMN representado nos cenários abstratos refinados. Para isso, analisou-se a estrutura do arquivo XML de cada cenário abstrato, gerado pela ferramenta BPMN.io, para identificar o nome da *tag* correspondente a cada elemento BPMN utilizado. Como a BPMN.io é rigorosamente baseada na especificação BPMN da OMG versão 2.0.2 ([Object Management Group, 2013](#)), os nomes das *tags* que representam os elementos BPMN são correspondentes aos nomes de suas respectivas classes na especificação BPMN. Assim, as classes da especificação BPMN foram identificadas a partir das *tags* do arquivo XML que representam: (i) tarefas que realizam o envio de requisições (`sendTask`); (ii) tarefas que realizam o recebimento de retorno de requisições (`receiveTask`) por meio de fluxos de mensagens (`messageFlow`) que indicam a interoperabilidade entre processos de negócio; (iii) evento intermediário de erro (`errorEventDefinition`); (iv) elementos dos subprocessos dos cenários: evento de início (`startEvent`), desvio exclusivo (`exclusiveGateway`), fluxo de sequência (que representa cada possível falha) que sai do desvio exclusivo (`sequenceFlow`) e todos os demais elementos que são considerados contornar as falhas, ou seja, evento intermediário temporal (`timerEventDefinition`), tarefa de envio (`sendTask`), tarefa de recebimento (`receiveTask`), tarefa manual (`manualTask`) e evento intermediário de recebimento de mensagem do tipo “capturar” (`intermediateCatchEvent`).

A primeira coluna da Tabela 7 apresenta o nome dos elementos BPMN utilizados para representar o tratamento de exceções em PoP direcionados e a segunda coluna mostra o nome das classes correspondentes da especificação BPMN.

O próximo passo foi estender o metamodelo do PoP representando nele as classes da especificação BPMN identificadas anteriormente (Tabela 7), bem como relacionamentos de dependência dessas classes com as classes existentes do metamodelo do PoP. A semântica desse relacionamento de dependência indica que uma classe do metamodelo do PoP é representada por uma classe BPMN. Salienta-se que os relacionamentos entre as classes BPMN foram reutilizados da especificação OMG.

A Figura 36 exhibe o metamodelo do PoP estendido neste trabalho, sendo que as classes da especificação BPMN de interesse deste trabalho e incorporadas ao metamodelo estão destacadas em laranja. Para representar a extensão do metamodelo de maneira mais organizada sem perder a sua legibilidade, as classes BPMN relacionadas a desvio, even-

Tabela 7 – Elementos BPMN utilizados para representar tratamento de exceções em PoP

Elementos BPMN	Classes da especificação BPMN (Object Management Group, 2013)
Piscina (<i>pool</i>)	<i>participant</i>
Processo	<i>process</i>
Fluxo de mensagem	<i>messageFlow</i>
Evento de borda	<i>boundaryEvent</i>
Evento intermediário de erro	<i>errorEventDefinition</i>
Subprocesso	<i>subProcess</i>
Evento de início	<i>startEvent</i>
Desvio exclusivo	<i>exclusiveGateway</i>
Fluxo de sequência	<i>sequenceFlow</i>
Tarefa de envio	<i>sendTask</i>
Tarefa de recebimento	<i>receiveTask</i>
Tarefa manual	<i>manualTask</i>
Evento intermediário de recebimento de mensagem	<i>messageEventDefinition</i>
Evento intermediário temporal	<i>timerEventDefinition</i>
Evento de fim <i>terminate</i>	<i>terminateEventDefinition</i>

tos e tarefas foram agrupadas em pacotes (*Gateway*, *Event* e *Task*). A comunicação (*Interoperation*) entre os processos constituintes (*ConstituentProcess* (CP)) do PoP é representada por meio de fluxo de mensagem (*MessageFlow*) em BPMN. No contexto de PoP, cada processo constituinte é representado por um participante (*Participant*) em BPMN. O participante está associado a um processo (*Process*) em BPMN quando for um processo constituinte público (*PublicCP*). Cada tratamento de exceções (*ExceptionHandling*) é representado e realizado por meio de um subprocesso BPMN (*SubProcess*) que possuem os elementos contidos nos pacotes (*Gateway*), (*Task*) e (*Event*).

A Figura 37 apresenta o pacote *Gateway*, que contém o desvio do tipo exclusivo (*ExclusiveGateway*) associado a um fluxo de sequência (*SequenceFlow*). Cada fluxo de sequência associado a esse desvio representa uma falha. As classes da especificação BPMN que são de interesse deste trabalho estão representadas na cor laranja. Para representar o contexto em que elas estão inseridas, outras classes da especificação BPMN são oportunamente representadas sem cor de destaque.

A Figura 38 apresenta o pacote *Event*, que contém todos os eventos importantes utilizados no contexto do tratamento de exceções na interoperabilidade de PoP. Por exemplo, o evento de borda (*BoundaryEvent*) do tipo (*ErrorEventDefinition*) referente a um processo (*Process*) de um constituinte (*Participant*), quando ocorre alguma falha em uma determinada tarefa (no envio ou recebimento). Além disso, há outros eventos intermediários presentes nos cenários abstratos, como evento intermediário de erro (*errorEventDefinition*), evento temporal (*timerEventDefinition*), evento intermediário de recebimento

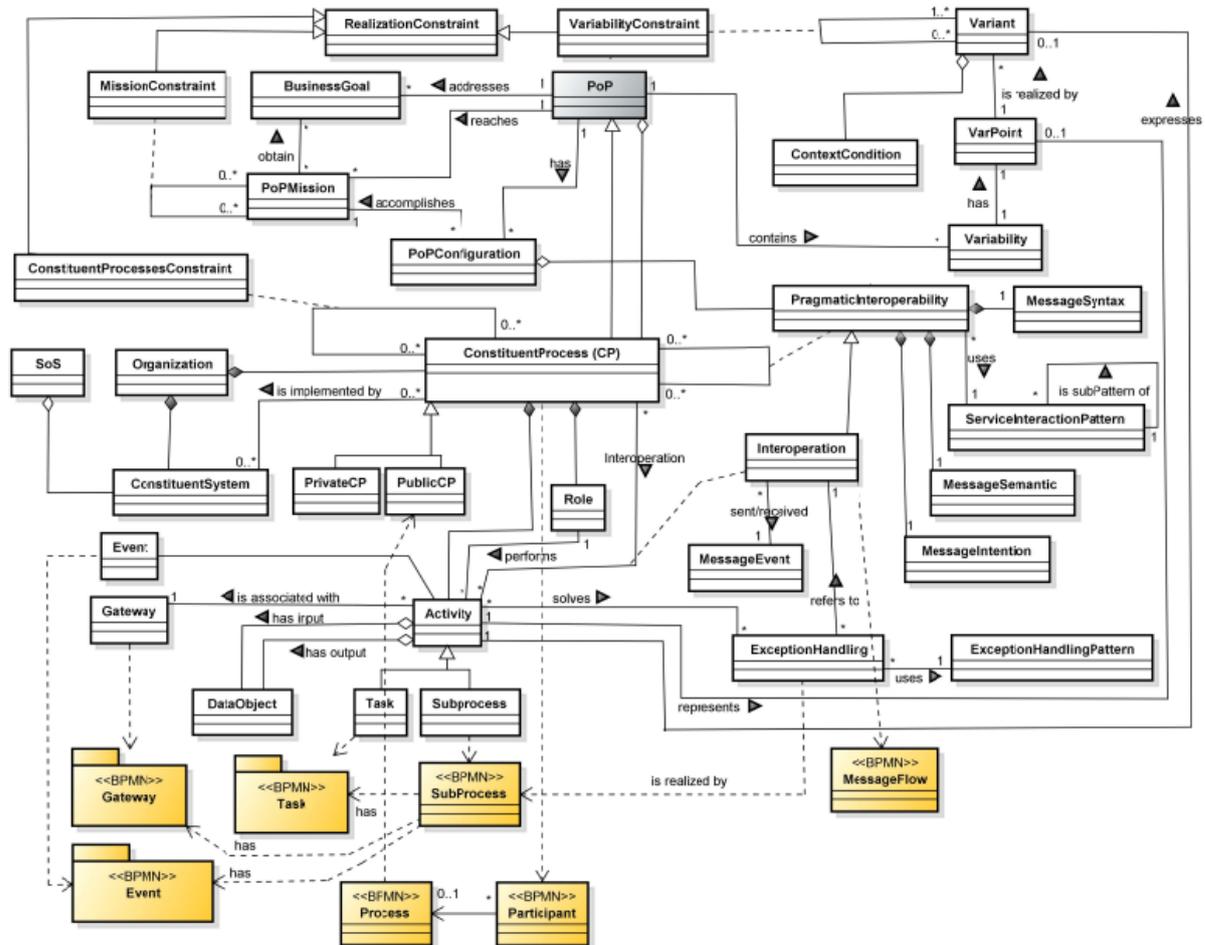


Figura 36 – Metamodelo estendido do PoP com base nas classes da especificação BPMN que representam os elementos dos cenários abstratos

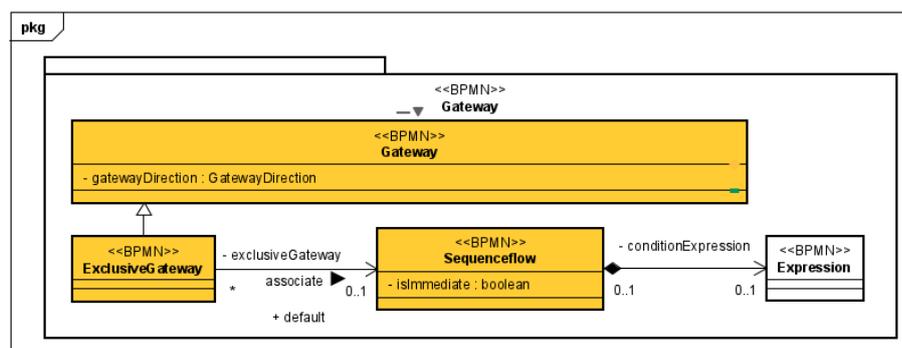


Figura 37 – Desvios (*Gateways*) BPMN utilizados para representar tratamento de exceção em PoP

de mensagem (*messageEventDefinition*) e evento de fim *terminate* (*terminateEventDefinition*).

Por fim, a Figura 39 apresenta o pacote Task, que contém as tarefas envolvidas no tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP. A tarefa de envio (*SendTask*) e de recebimento (*ReceiveTask*) são utilizadas para representar a interoperabilidade (*MessageFlow*) em PoP. Para representar o tratamento de exceções, foi utilizado o subprocesso (*SubProcess*) para representar as falhas ocorridas e como contorná-las. Para

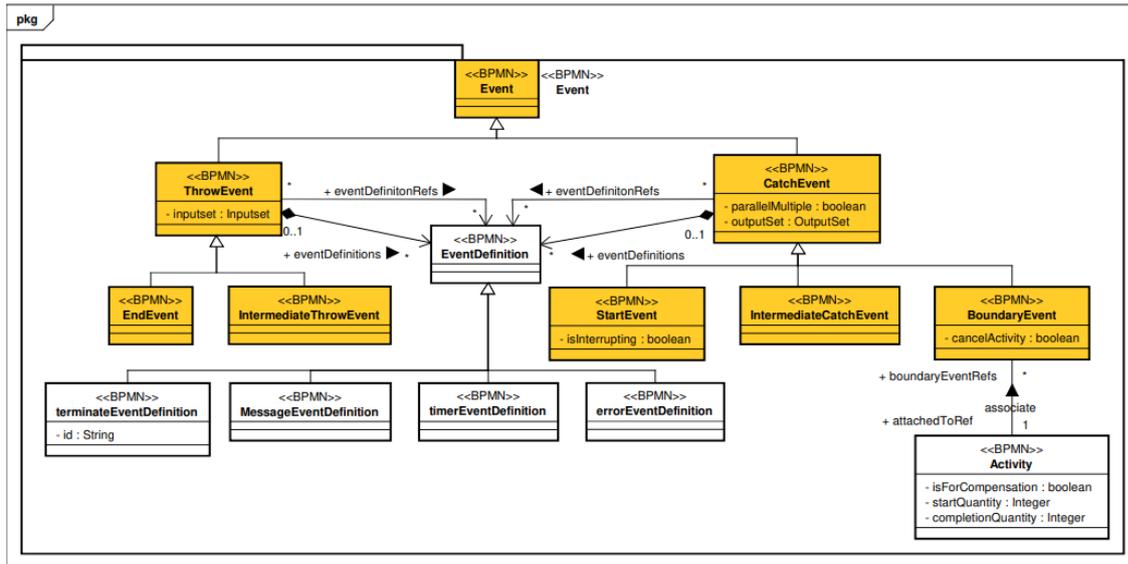


Figura 38 – Eventos (Events) BPMN utilizados para representar tratamento de exceções em PoP

isso, são utilizadas a tarefa manual (*ManualTask*), tarefa de usuário (*UserTask*), tarefa de envio (*sendTask*) e tarefa de recebimento (*ReceiveTask*), juntamente com outros eventos intermediários, como evento temporal (*timerEventDefinition*) e evento intermediário de recebimento (*IntermediateCatchEvent*) de mensagem (*messageEventDefinition*) presentes no pacote Event.

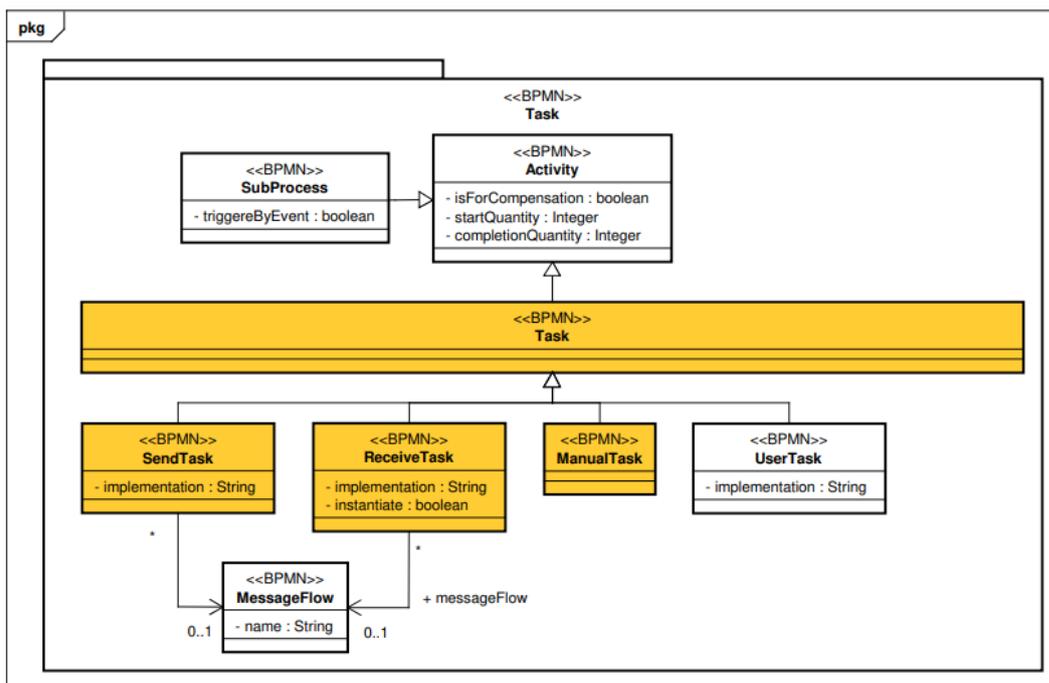


Figura 39 – Tarefas (Tasks) BPMN para representar tratamento de exceções em PoP

4.7 Considerações Finais

Este capítulo abordou a construção e avaliação dos cenários abstratos de tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP, que é um dos artefatos desenvolvidos neste trabalho de mestrado. Os cenários abstratos refletem situações reais, pois foram concebidos a partir de cenários concretos, que foram obtidos a partir de informações fornecidas por *stakeholders* de PoP reais de domínios distintos e por meio de um estudo de caso descrito no trabalho de [Andrews et al. \(2013\)](#).

Posteriormente, foi conduzida uma avaliação para analisar a adequabilidade da representação dos cenários sob a perspectiva de especialistas em BPMN. A partir dos feedbacks dos participantes da avaliação, os cenários abstratos de tratamento de exceções no envio e no recebimento de mensagens foram refinados. Com isso, foi possível identificar os elementos BPMN importantes para representar tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP. As classes BPMN correspondentes a esses elementos foram identificadas e incorporadas ao metamodelo do PoP, obtendo-se o metamodelo estendido do PoP que é outro artefato relevante produzido neste trabalho.

Salienta-se que os cenários abstratos durante a interoperabilidade em PoP podem ser úteis para ajudar analistas de negócios na modelagem apropriada de falhas e de seus respectivos tratamentos de exceção em modelos PoP, mais especificamente, Modelo Detalhado de Missão do PoP. Além disso, os cenários abstratos podem auxiliar no entendimento dos requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir das falhas que ocorrem durante a interoperabilidade entre os sistemas constituintes, uma vez que o SoS automatiza geralmente os processos de negócios. Desta forma, é possível obter o alinhamento do nível de negócio com o nível técnico considerando as especificações dos requisitos de tolerância a falhas de SoS, os quais são extraídos de forma automática e sistemática a partir do nível técnico. Isso pode colaborar para a estabilidade e o bom funcionamento do SoS.

O próximo capítulo apresenta a definição e a avaliação das diretrizes para extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir das classes BPMN apresentadas neste capítulo para representar tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP.

5 Extração Sistemática de Requisitos de Tolerância a Falhas de SoS a partir de PoP

5.1 Considerações Iniciais

Para apoiar a identificação de requisitos de tolerância a falhas de SoS alinhados aos objetivos estratégicos de alianças de organizações, este capítulo apresenta o estabelecimento de um conjunto de diretrizes para a extração sistemática desses requisitos. Para isso, as diretrizes tomam como base elementos BPMN do metamodelo estendido neste trabalho para levantar informações relevantes sobre os requisitos a partir de modelos de PoP. Em mais detalhes, a Seção 5.2 apresenta a definição das diretrizes de extração de requisitos de tolerância a falhas, primordial para garantir a estabilidade de SoS. Na Seção 5.3 é apresentado um estudo de caso que mostra a aplicação sistemática das diretrizes definidas. Para avaliar a exequibilidade das diretrizes apresentadas, a Seção 5.4 mostra uma prova de conceito por meio do desenvolvimento de um módulo na ferramenta PoP *Modeler* para extrair de maneira sistemática e automática requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de modelos do PoP. A completude e o alinhamento ao negócio dos requisitos extraídos pela ferramenta, bem como a sua facilidade de uso e utilidade foram observados a partir de uma avaliação sob a perspectiva de engenheiros de requisitos de um SoS real. Por fim, a Seção 5.5 apresenta as considerações finais deste capítulo.

5.2 Diretrizes para Extração de Requisitos de Tolerância a Falhas de SoS

A concepção das diretrizes de extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS foi motivada pelo estudo de Cagnin e Nakagawa (2024). Nesse estudo, os autores apresentam o PoP como fonte de informação valiosa para identificar três classes de requisitos de SoS (funcionais, não funcionais e de comportamentos emergentes de SoS) a partir de elementos do metamodelo de PoP (CAGNIN; NAKAGAWA, 2022); porém, sem considerar elementos específicos da notação utilizada para representar os modelos de PoP.

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

Assim, observou-se a importância de definir as diretrizes de interesse deste trabalho

diante dos benefícios mencionados e observando a necessidade de extrair requisitos a partir de elementos da notação utilizada na modelagem de PoP, em particular o Modelo Detalhado de Missão do PoP, com o intuito de sistematizar o processo de extração dos requisitos e potencializar a sua automação.

As diretrizes de extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de PoP foram definidas a partir da execução de quatro etapas. Nas duas primeiras etapas foi feito um estudo para levantar elementos BPMN dos cenários abstratos que são relevantes para identificar e especificar requisitos de tolerância a falhas de SoS. A terceira etapa define templates textuais para especificar esses requisitos. Por fim, a última etapa define um algoritmo para extrair os requisitos de interesse e especificá-los utilizando um dos templates definidos.

Na **primeira etapa** foram analisados os elementos BPMN de tratamento de exceções durante o envio e o recebimento de retorno de mensagens, presentes nos cenários abstratos refinados (Seção 4.5.6 do Capítulo 4) e representados no metamodelo estendido do PoP (Figura 36, Seção 4.6 do Capítulo 4). Como resultado dessa análise, foi elaborada uma tabela para documentar os elementos observados para o tratamento de exceções no envio de mensagens (Tabela 8) e outra para documentar os elementos identificados para o tratamento de exceções no recebimento de retorno de mensagens (Tabela 9). Ambas tabelas auxiliam no entendimento de quais elementos devem ser observados para coletar informações relevantes de cada Modelo Detalhado de Missão do PoP para o tratamento de exceções no envio e no recebimento de retorno de mensagens.

Tabela 8 – Resultado da análise de elementos BPMN de tratamento de exceções no envio de mensagens

Elemento	Ação
Tarefa de envio de mensagens associada a evento de erro na borda	Realiza o envio de mensagem ao constituinte destinatário (piscina de recebimento).
Tarefa de envio de mensagens associada ao evento temporal intermediário na borda (não interromper)	Realiza o envio de mensagens ao constituinte destinatário (piscina de recebimento) sob condições de um determinado tempo que não irá interromper o fluxo do processo.
Tarefa de envio de mensagens associada ao evento temporal intermediário na borda (interromper)	Realiza o envio de mensagens ao constituinte destinatário (recebimento). Porém, o envio de mensagens pode ser interrompido sob condições de um determinado tempo.
Evento intermediário de envio de mensagens	O fluxo do processo aguarda o envio da mensagem para outro processo (externo à piscina) para prosseguir
Evento de fim de envio de mensagem	O fluxo do processo é encerrado assim que é realizado o envio de mensagem por meio deste evento.
Piscina de envio de mensagens (associado ao fluxo de mensagem)	O constituinte fará o envio de forma privada

Na **segunda etapa**, foi realizada uma análise para identificar os campos neces-

Tabela 9 – Resultado da análise de elementos BPMN de tratamento de exceções no recebimento de retorno de mensagens

Elemento	Ação
Evento início de recebimento de mensagens	Recebe uma mensagem através do constituinte de origem (piscina de envio)
Tarefa de recebimento de mensagens associada a evento de erro na borda	Recebe uma mensagem através do constituinte de origem (piscina de envio)
Tarefa de recebimento de mensagens associada a evento de temporal na borda (quando NÃO interrompe o fluxo do processo)	Recebe uma mensagem através do constituinte de envio (piscina de envio), sob condições de um tempo determinado que não será interrompido
Tarefa de recebimento de mensagens associada ao evento de temporal na borda (quando interrompe o fluxo do processo)	Recebe uma mensagem através do constituinte de envio (piscina de envio), sob condições de um tempo determinado que pode interromper o recebimento
Evento intermediário de recebimento de mensagens	Recebe uma mensagem através do constituinte de envio (piscina de envio)
Piscina de recebimento de mensagens (associado ao fluxo de mensagem)	O constituinte fará o recebimento de forma privada

sários para compor a especificação de requisitos de tolerância a falhas no envio e no recebimento de retorno de mensagens. Para isso, inicialmente foram observados campos comumente utilizados nos templates definidos por [Cagnin e Nakagawa \(2024\)](#), que estão em conformidade com a [ISO/IEC 29148 \(2018\)](#), e que poderiam ser reutilizados na íntegra (campos *ID*, *Classe* e *Sujeito*), outros que foram reutilizados e adaptados (campos *Constituinte de origem*, *Constituinte de destino*, *Ação* e *Rastreabilidade*) e aqueles que foram definidos especificamente para o contexto de tolerância a falhas no envio de mensagens (campos *Momento para ocorrência da falha*, *Quais falhas ocorrem* e *Como resolver as falhas durante o envio da mensagem*) e no recebimento de mensagens (campos *Momento para ocorrência da falha*, *Quais falhas ocorrem* e *Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem*).

A Tabela 10 exibe os campos relevantes para apoiar a especificação de requisitos de tolerância a falhas no envio de mensagens e a Tabela 11 apresenta os campos sob a perspectiva de especificação de requisitos de tolerância a falhas no recebimento de retorno de mensagens.

Na **terceira etapa**, para facilitar a extração sistemática dos requisitos, foi definida uma variável para representar o conteúdo de cada campo. Tal conteúdo é obtido a partir de um ou mais elementos da especificação BPMN, conforme detalhado na Tabela 12. Ainda na terceira etapa, foram definidos templates textuais para especificar os requisitos de tolerância a falhas de SoS durante a interoperabilidade tomando como base os campos apresentados nas Tabelas 10 e 11 e as variáveis apresentadas na Tabela 12.

As Tabelas 13 e 14 mostram os templates para apoiar a especificação detalhada de

Tabela 10 – Campos para especificar requisitos de tolerância a falha no envio

Fonte	Campo	Descrição
Reutilizado	ID	Obtido pela observação do ID do arquivo BPMN relacionado a tarefa de envio com falha durante a interoperabilidade
Reutilizado	Classe	Classe de requisito; neste caso, é o requisito não funcional SoS (SoS_NFR).
Reutilizado	Sujeito	Sujeito do requisito; neste caso, é o próprio SoS
Adaptado	Constituinte de origem	Obtido pela observação do constituinte que realiza o envio de mensagens
Adaptado	Constituinte de destino	Obtido pela observação do constituinte que realiza o recebimento de mensagens
Adaptado	Ação	Tratamento de falha no envio de mensagem durante a interoperabilidade entre dois constituintes
Específico	Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Obtido pela observação de tarefa de envio de mensagem associada a evento de erro
Específico	Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Obtidas pela observação de cada rótulo associado a cada fluxo de saída do gateway do subprocesso que representa o tratamento de exceção durante o envio de mensagem
Específico	Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Obtido a partir da observação de eventos intermediários temporais, eventos intermediários de recebimento de mensagem (não anexados a tarefas) e tarefas que devem ser executados após a ocorrência de cada falha durante o envio da mensagem
Adaptado	Rastreabilidade	Obtido pela observação do nome do elemento de origem para o elemento de destino na tarefa de envio com falha

Tabela 11 – Campos para especificar requisitos de tolerância a falha no recebimento

Fonte	Campo	Descrição
Reutilizado	ID	Obtido pela observação do ID do arquivo BPMN relacionado a tarefa de recebimento com falha durante a interoperabilidade
Reutilizado	Classe	Classe de requisito; neste caso, é o requisito não funcional SoS (SoS_NFR).
Reutilizado	Sujeito	Sujeito do requisito; neste caso, é o próprio SoS
Adaptado	Constituinte de origem	Obtido pela observação do constituinte que realiza o envio de mensagens
Adaptado	Constituinte de destino	Obtido pela observação do constituinte que realiza o recebimento de mensagens
Adaptado	Ação	Tratamento de falha no recebimento de mensagem durante a interoperabilidade entre dois constituintes
Específico	Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Obtido pela observação de tarefa de recebimento de mensagem associada a evento de erro e Obtido pela observação de tarefa de serviço associada a evento de erro, cujo evento anterior é um evento intermediário de recebimento de mensagem ou um evento de início de recebimento de mensagem
Específico	Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	Obtidas pela observação de cada rótulo associado a cada fluxo de saída do gateway do subprocesso que representa o tratamento de exceção durante o recebimento de mensagem
Específico	Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Obtido a partir da observação de eventos intermediários temporais e eventos intermediários de recebimento de mensagem (não anexados à tarefas) e tarefas que devem ser executados após a ocorrência de cada falha durante o recebimento da mensagem
Adaptado	Rastreabilidade	Obtido pela observação do nome do elemento de origem para elemento de destino na tarefa de recebimento com falha

requisitos de tolerância a falhas de SoS no envio e no recebimento de retorno de mensagens, respectivamente, enquanto que as Tabelas 15 e 16 exibem os respectivos templates de forma compacta. Em particular, foram definidos dois tipos de templates, ou seja, de-

Tabela 12 – Elementos BPMN para extração dos requisitos

Variáveis	Elementos BPMN	Fonte de informação
Constituinte_Origem	(Participante/Lane) participant: id, name, processRef	Piscina que dá origem ao envio da mensagem
Constituinte_Destino	(Participante/Lane) participant: id, name, processRef	Piscina que dá destino da mensagem
Tarefa_envio_msg_com_ev_erro	(Tarefa de envio) sendTask: id, name + boundaryEvent: id, attachedToRef (refere-se ao ID da sendTask) + errorEventDefinition: id, outgoing	Tarefa que realiza o envio de mensagem
Tarefa_recebimento_msg_com_ev_erro	(Tarefa de recebimento) receiveTask: id, name + boundaryEvent: id, attachedToRef (refere-se ao ID da receiveTask) + errorEventDefinition: id, outgoing	Tarefa que realiza o recebimento de mensagem
Ev_interm_envio_msg	(Evento intermediário de envio) intermediateThrowEvent: id, name, incoming, outgoing + messageEventDefinition: id	Evento intermediário que realiza o envio de mensagem
Ev_interm_receb_msg	(Evento intermediário de recebimento) intermediateCatchEvent: id, name, incoming, outgoing + messageEventDefinition: id	Evento intermediário que realiza o recebimento de mensagem
Ev_interm_temporal	(Evento intermediário temporal de interromper) intermediateCatchEvent: id, name, incoming, outgoing + timerEventDefinition: id	Evento intermediário temporal do tipo que interrompe o envio ou o recebimento de mensagem conforme descrição
Realizar tratamento de exceção de envio	(Subprocesso) subProcess: id, name, incoming, outgoing	Tarefa que irá realizar o tratamento de exceção da tarefa de envio de mensagem que falhou
Realizar tratamento de exceção de recebimento	(Subprocesso) subProcess: id, name, incoming, outgoing	Tarefa que irá realizar o tratamento de exceção da tarefa de recebimento de mensagem que falhou
Rotulo_fluxo_sequencia	(Fluxo de sequência) sequenceFlow: id, sourceRef, targetRef	Fluxo de sequência saindo de um gateway ou de uma atividade
Desvio_exclusivo	(Desvio) exclusiveGateway: id	Desvio de sequência a ser percorrido

talhado e compacto. A adoção do template detalhado visa registrar os dados dos campos importantes para descrever a ação do requisito à medida que os elementos do Modelo Detalhado de Missão em BPMN são analisados na etapa de elicitação de requisitos (próxima etapa).

Tabela 13 – Template detalhado para especificação dos requisitos de tolerância a falha no envio

Campo	Conteúdo
ID	ID da tarefa de envio com falha
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	[Sujeito do requisito, no caso é o próprio SoS]
Constituinte de origem	constituente_origem
Constituinte de destino	constituente_destino
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	momento_falha_envio é observado pela tarefa_envio_msg_com_ev_erro
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Cada falha_envio é observada por cada rotulo_fluxo_sequencia que sai do desvio_exclusivo do subprocesso cujo rótulo é “Realizar Tratamento de Exceção de Envio”
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Cada solução_falha_envio é observada por cada ev_interm_temporal, por cada ev_interm_envio_msg e por cada task após cada falha_envio
Ação	<i>Durante o envio de mensagem do</i> <code>constituente_origem</code> <i>para o</i> <code>constituente_destino</code> , <i>quando</i> <code>momento_falha_envio</code> <i>*[ao ocorrer</i> <code>falha_envio</code> , <i>então</i> <code>solução_falha_envio</code> <i>]</i>
Rastreabilidade	Participant <code>constituente_origem</code> para Participant <code>constituente_destino</code> na SendTask <code>tarefa_envio_msg_com_ev_erro</code>

Tabela 14 – Template detalhado para especificação dos requisitos de tolerância a falha no recebimento

Campo	Conteúdo
ID	ID da tarefa de recebimento com falha
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	[Sujeito do requisito, no caso é o próprio SoS]
Constituinte de origem	constituente_origem
Constituinte de destino	constituente_destino
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	momento_falha_recebimento é observada pela tarefa_recebimento_msg_com_ev_erro
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	Cada falha_recebimento é observada por cada rotulo_fluxo_sequencia que sai do desvio_exclusivo do subprocesso cujo rótulo é “Realizar Tratamento de Exceção de Recebimento”
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Cada solução_falha_recebimento é observada por ev_interm_temporal, ev_interm_receb_msg e por cada task após cada falha_recebimento
Ação	<i>Durante o recebimento de mensagem do</i> <code>constituente_origem</code> <i>para o</i> <code>constituente_destino</code> , <i>quando</i> <code>momento_falha_recebimento</code> <i>*[ao ocorrer</i> <code>falha_recebimento</code> , <i>então</i> <code>solução_falha_recebimento</code> <i>]</i>
Rastreabilidade	Participant <code>constituente_origem</code> para Participant <code>constituente_destino</code> na ReceiveTask <code>tarefa_recebimento_msg_com_ev_erro</code>

Na **quarta etapa**, foi definido um algoritmo para guiar a extração dos requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de cada Modelo Detalhado de Missão do PoP, tendo como premissa que a representação do tratamento de exceção durante a interoperabilidade deve estar em conformidade com os cenários abstratos refinados e apresentados na Seção 4.5.6 do Capítulo 4). A Figura 40 exibe os passos do algoritmo definido. Basicamente, é necessário percorrer cada Modelo Detalhado de Missão do PoP e elicitar os requisitos a partir de informação dos elementos BPMN envolvidos em cada troca de mensagem entre dois constituintes que possuem tarefa de envio ou recebimento com evento de erro na aborda e com subprocesso associado, com base nas Tabelas 12, 13 e 14. Em paralelo, os conteúdos dos campos dos templates detalhados para especificação dos requisitos

Tabela 15 – Template compactado para especificação de requisitos de tolerância a falhas no envio

Campo	Conteúdo
ID	ID da tarefa de envio com falha
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	[Sujeito do requisito, no caso é o próprio SoS]
Ação	<i>Durante o envio de mensagem do constituinte_origem para o constituinte_destino, quando momento_falha_envio *[ao ocorrer falha_envio, então solução_falha_envio]</i>
Rastreabilidade	Participant constituinte_origem para Participant constituinte_destino na SendTask tarefa_envio_msg_com_ev_erro

Tabela 16 – Template compactado para especificação de requisitos de tolerância a falhas no recebimento

Campo	Conteúdo
ID	ID da tarefa de recebimento com falha
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	[Sujeito do requisito, no caso é o próprio SoS]
Ação	<i>Durante o recebimento de mensagem do constituinte_origem para o constituinte_destino, quando momento_falha_recebimento *[ao ocorrer falha_recebimento, então solução_falha_recebimento]</i>
Rastreabilidade	Participant constituinte_origem para Participant constituinte_destino na ReceiveTask tarefa_recebimento_msg_com_ev_erro

são registrados, à medida que são identificados. Alternativamente, apenas a especificação compacta também pode ser fornecida aos engenheiros de requisitos SoS com base nos templates apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Destaca-se que durante a extração manual é essencial que o engenheiro de requisitos de SoS atribua um identificador único para o “ID” do requisito e como conteúdo do campo “Sujeito”, é necessário indicar o SoS em questão.

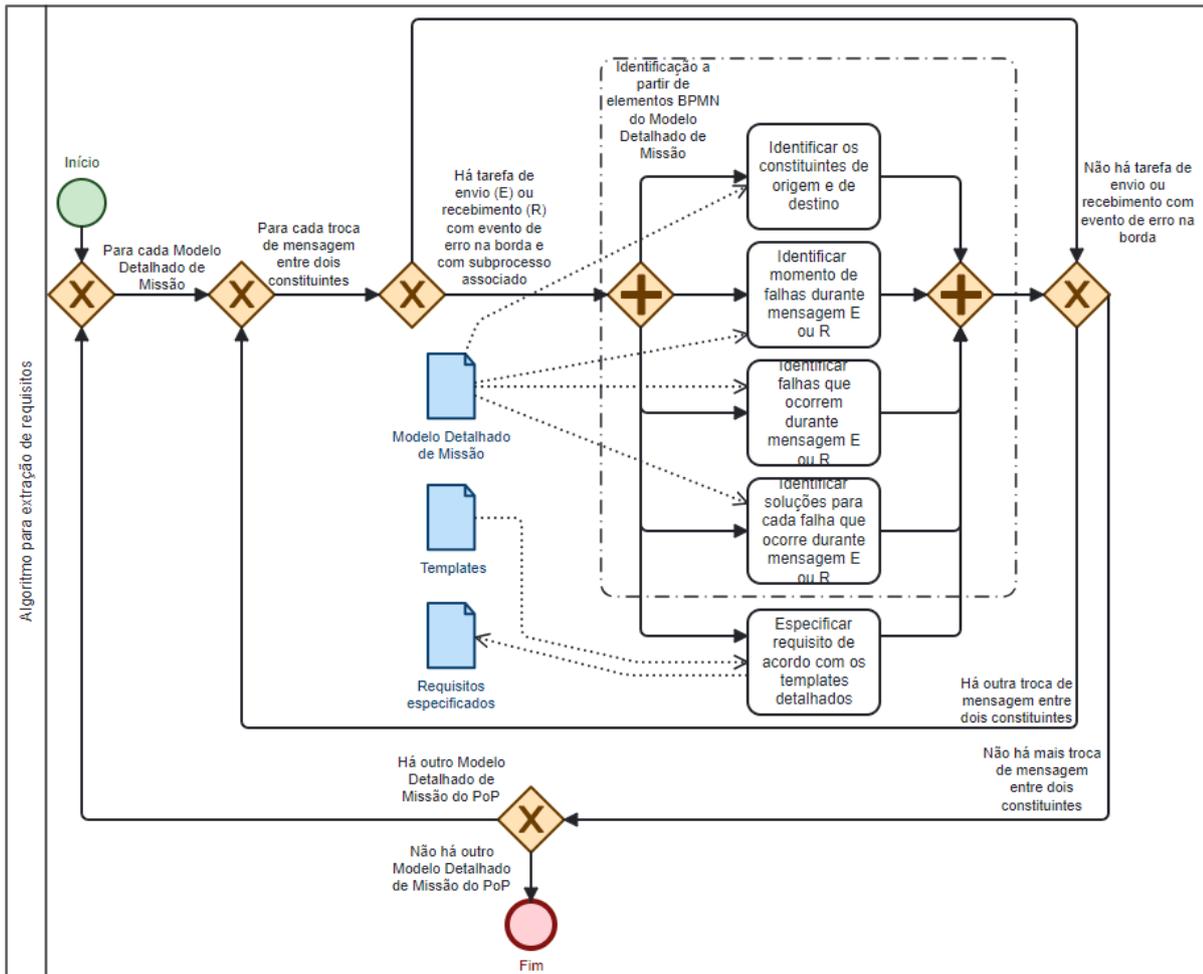


Figura 40 – Algoritmo para extração dos requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de PoP

5.3 Estudo de Caso: Aplicação das Diretrizes em um PoP real

Para avaliar as diretrizes de extração de requisitos definidas foi conduzido um estudo de caso (WHOLIN et al., 2000) descritivo e com evidências obtidas a partir das especificações textuais dos requisitos extraídos (RALPH et al., 2020). O objetivo do estudo de caso é analisar as diretrizes definidas, **com o propósito de** observar a sua aplicação **com respeito ao** apoio na extração sistemática de requisitos de tolerância a falhas **no contexto de** um SoS real a partir de um Modelo Detalhado de Missão (em particular, da missão “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)”) de um PoP dirigido (no caso, PoP Educacional-UFMS) **sob o ponto de vista** de um especialista em BPMN.

Durante o estudo de caso, foi seguido o algoritmo definido na seção anterior para extrair os requisitos de tolerância a falhas do SoS Educacional-UFMS. Esse SoS é composto por quatro sistemas constituintes, sendo eles: (i) *Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)*¹: sistema que os alunos podem acessar os conteúdos e realizar atividades referentes

¹ <https://ava.ufms.br/>

às turmas em que estão matriculados; (ii) *Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD)*²: sistema que auxilia tanto docentes (inclusive coordenadores e diretores) quanto acadêmicos da UFMS no gerenciamento e consulta de informações relacionados a cursos de graduação; (iii) *Keycloak*³: sistema que permite autenticação única para diversos outros aplicativos e sistemas de forma integrada para conexão com servidores LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*) ou *Active Directory* existentes e em locais diferentes; e (iv) *Passaporte da UFMS*⁴: sistema de gerenciamento de contas de usuários para acesso aos computadores da UFMS e os sistemas desenvolvidos pela Agência de Tecnologia da Informação e Comunicação (AGETIC) da UFMS.

Todos os sistemas constituintes supramencionados neste estudo de caso são essenciais para que este SoS possa ser executado com sucesso e conforme planejado, pois cada um desses constituintes possui responsabilidades importantes no âmbito acadêmico da UFMS. No entanto, este SoS pode ser suscetível a falhas e comportamentos inesperados devido às características intrínsecas de cada um de seus constituintes, principalmente durante a interoperabilidade entre eles.

Para entender melhor a complexidade e o dinamismo dos processos automatizados pelo SoS Educacional-UFMS, foram contactados quatro analistas de tecnologia da informação da própria AGETIC a fim de obter mais detalhes sobre o funcionamento desses processos. Para isso, foram realizadas duas reuniões: a primeira em 18/08/2022 para obter informações relevantes e realizar uma modelagem preliminar do PoP correspondente e a segunda em 20/12/2022 para obter feedback dos modelos preliminares e refiná-los, obtendo-se modelos aprimorados do PoP. A Figura 41 apresenta o Modelo Detalhado de Missão “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)” do PoP Educacional-UFMS, utilizado neste estudo de caso como fonte de informação para a extração dos requisitos de tolerância a falhas do SoS Educacional-UFMS. Nesse PoP, há um total de sete tarefas de envio e de recebimento de retorno de mensagem que podem apresentar falhas durante a interoperabilidade entre os constituintes envolvidos. Neste estudo de caso, a extração manual dos requisitos de tolerância a falhas é baseada nessas tarefas, que estão elencadas na Tabela 17.

² <https://siscad.ufms.br/>

³ <https://www.keycloak.org/>

⁴ <https://passaporte.ufms.br/>

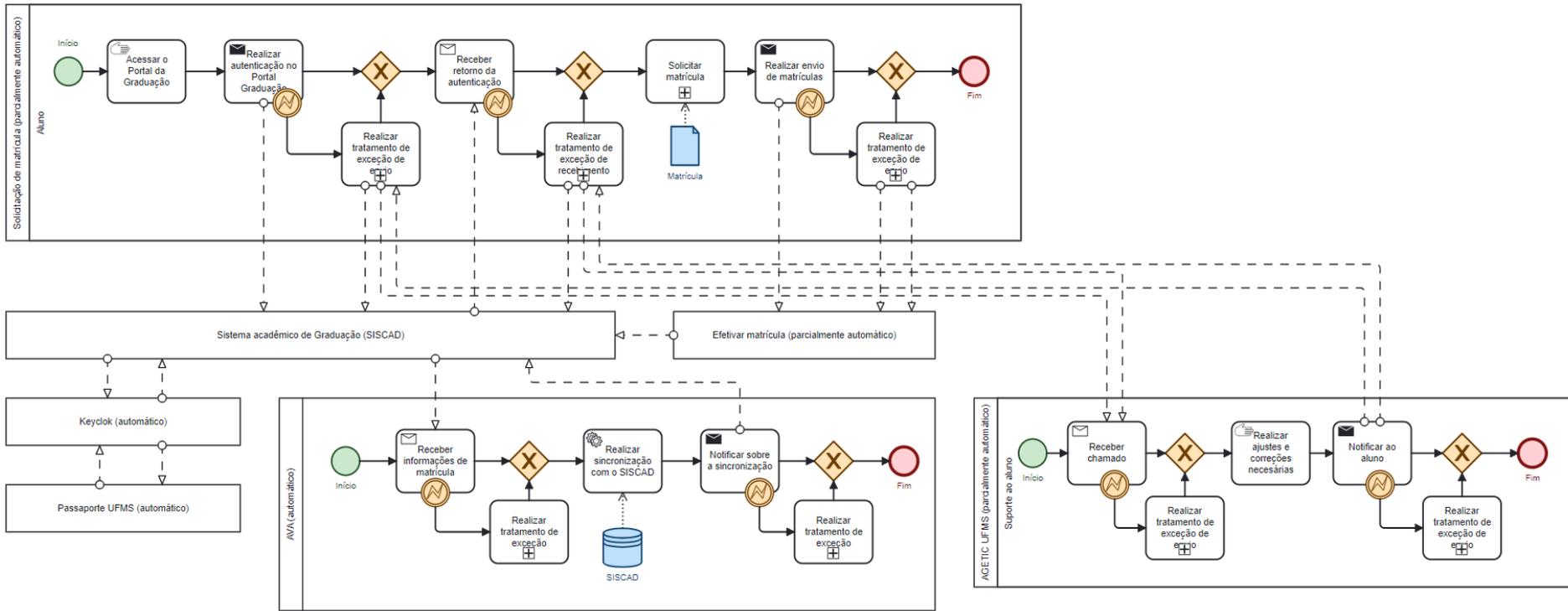


Figura 41 – Modelo Detalhado de Missão “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)”

Tabela 17 – Tarefas de envio e recebimento do PoP Educacional-UFMS

Tipo da tarefa	Nome da tarefa
Envio	Realizar autenticação no Portal Graduação
Recebimento	Receber retorno da autenticação
Envio	Realizar envio de matrículas
Recebimento	Receber informações de matrícula
Envio	Enviar <i>log</i> de sincronização
Recebimento	Receber chamado
Envio	Notificar ao aluno

As informações obtidas durante as reuniões com os analistas da AGETIC ajudaram a entender melhor o funcionamento da execução do PoP Educacional-UFMS, bem como a interoperabilidade entre os seus processos de negócio, possíveis falhas e como contorná-las. Por exemplo, um dos papéis importantes do constituinte SISCAD é receber a relação dos alunos em que foram matriculados em turmas de disciplinas e disponibilizar ao constituinte AVA. Em seguida, o AVA sincroniza essas informações recebidas com aquelas que já possui. Porém, caso haja falha durante o envio das informações dos alunos matriculados do SISCAD para o AVA, somente é possível realizar a sincronização entre esses sistemas se houver tratamento de exceções adequado. Outro exemplo de falha é durante a sincronização dessas informações do SISCAD com o AVA. Caso ocorra alguma falha, as informações em que foram sincronizadas permanecem gravadas no AVA e são disponibilizadas nesse sistema mesmo que parcialmente. Haverá tentativa de nova sincronização das demais informações não sincronizadas nas próximas 24 horas.

A seguir, são apresentados os requisitos de tolerância a falhas do SoS Educacional-UFMS extraídos a partir do PoP correspondente (Figura 41), com base no algoritmo apresentado na seção anterior (Figura 40). Conforme mencionado, esse algoritmo auxilia a extração e especificação dos requisitos com base nas Tabelas 12, 13 e 14.

A Tabela 18 apresenta o nome das tarefas de envio ou de recebimento do PoP Educacional-UFMS (com evento de erro na borda e com subprocesso associado), o tipo de cada tarefa, a representação do subprocesso de tratamento de exceção associado à cada tarefa extraída da Figura 41 e a referência da tabela correspondente à especificação de cada requisito extraído manualmente. Conforme observado na tabela, foram extraídos sete requisitos de tolerância a falhas para o SoS Educacional-UFMS, um para cada uma das tarefas elencadas.

A Tabela 19 apresenta o requisito de tolerância falha extraído a partir de informações da tarefa “Realizar autenticação no Portal Graduação” e do subprocesso de tratamento de exceções associado a ela (exibido na Figura 42).

Tabela 18 – Tarefas de envio e recebimento do PoP Educacional-UFMS, tratamentos de exceções e requisitos extraídos

Tipo da tarefa	Nome da tarefa	Representação do tratamento de exceções	Especificação do requisito
Envio	Realizar autenticação no Portal Graduação	Figura 42	Tabela 19
Recebimento	Receber retorno da autenticação	Figura 43	Tabela 20
Envio	Realizar envio de matrículas	Figura 44	Tabela 21
Recebimento	Receber informações de matrícula	Figura 45	Tabela 22
Envio	Enviar log de sincronização	Figura 46	Tabela 23
Recebimento	Receber chamado	Figura 47	Tabela 24
Envio	Notificar ao aluno	Figura 46	Tabela 25

Tabela 19 – Requisito de tolerância a falha extraídos manualmente da tarefa de envio “Realizar autenticação no Portal Graduação”

Campo	Conteúdo
ID	01
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar autenticação no Portal Graduação”.
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao realizar autenticação” e “Portal indisponível”.
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Ação	Durante o envio de mensagem do “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar autenticação no Portal Graduação” ao ocorrer “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Rastreabilidade	Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na Tarefa de envio “Realizar autenticação no Portal Graduação”.

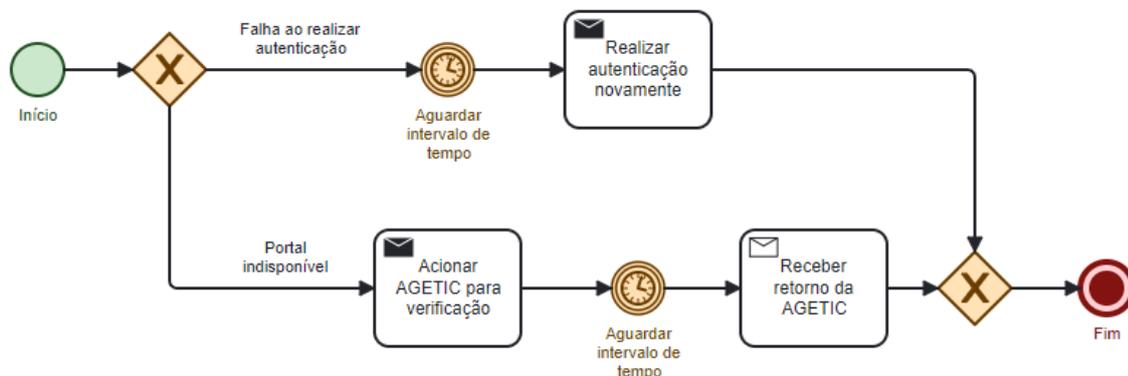


Figura 42 – Subprocesso de tratamento de exceções no envio associado à tarefa “Realizar autenticação no Portal Graduação”

A Tabela 20 apresenta o requisito de tolerância a falha extraído da tarefa “Receber retorno da autenticação” e do subprocesso de tolerância a falhas associado a ela (Figura 43).

Tabela 20 – Requisito de tolerância a falha extraído manualmente da tarefa de recebimento “Receber retorno da autenticação”

Campo	Conteúdo
ID	02
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
(Constituinte de destino)	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber retorno da autenticação”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Conteúdo inesperado” e “Falha ao receber retorno”
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber retorno da autenticação” ao ocorrer “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Rastreabilidade	Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na Tarefa de recebimento “Receber retorno da autenticação”



Figura 43 – Subprocesso de tratamento de exceções no recebimento associado à tarefa “Receber retorno da autenticação”

A Tabela 21 apresenta o requisito de tolerância a falhas extraído da tarefa “Realizar envio de matrículas”, bem como do subprocesso de tratamento de exceções a ela associado (Figura 44).

Tabela 21 – Requisito de tolerância a falha extraído manualmente da tarefa de envio “Realizar envio de matrículas”

Campo	Conteúdo
ID	03
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar envio de matrículas”
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao enviar matrículas” e “Constituinte indisponível”
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao enviar matrículas”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar envio novamente”. Para “Constituinte indisponível”, então “Realizar envio para outro constituinte provisório”.
Ação	Durante o envio de mensagem do Solicitação de matrícula (parcialmente automático) para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar envio de matrículas” ao ocorrer “Falha ao enviar matrículas”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar envio novamente”; ao ocorrer “Constituinte indisponível”, então “Realizar envio para outro constituinte provisório”.
Rastreabilidade	Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na Tarefa de envio “Realizar envio de matrículas”.

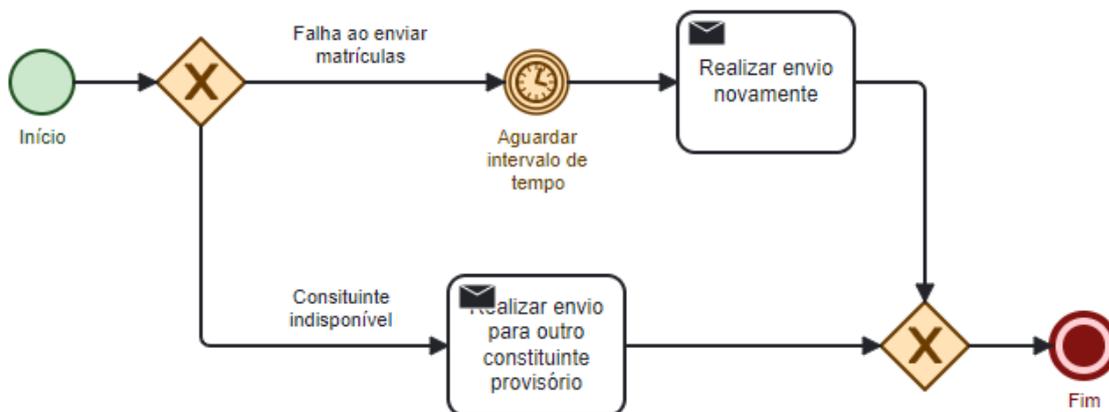


Figura 44 – Subprocesso de tratamento de exceções no envio associado à tarefa “Realizar envio de matrículas”

A Tabela 22 apresenta o requisito de tolerância a falha extraído a partir da tarefa “Receber informações de matrícula” e do subprocesso associado a ela (Figura 45).

Tabela 22 – Requisito de tolerância a falha extraído manualmente da tarefa de recebimento “Receber informações de matrícula”

Campo	Conteúdo
ID	04
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Constituinte de destino	AVA (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber informações de matrícula”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “AVA (automático)”, quando “Receber informações de matrícula” ao ocorrer “Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”.
Rastreabilidade	Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Piscina “AVA (automático)” na Tarefa de recebimento “Receber informações de matrícula”

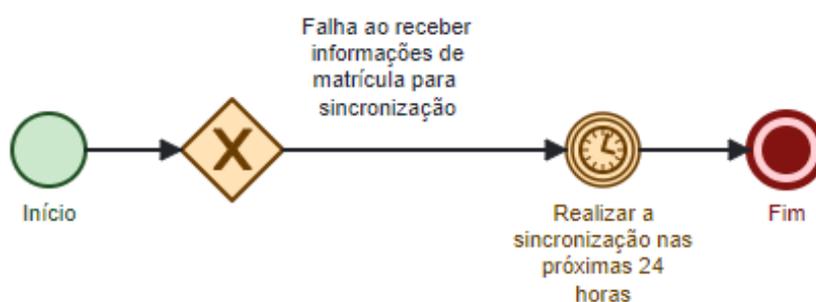


Figura 45 – Subprocesso de tratamento de exceções no recebimento associado à tarefa “Receber informações de matrícula”

A Tabela 23 apresenta o requisito de tolerância a falhas extraído da tarefa “Enviar log de sincronização” e do seu respectivo subprocesso de tratamento de exceções (ilustrado na Figura 46).

Tabela 23 – Requisito de tolerância a falha extraído manualmente da tarefa de envio “Enviar log de sincronização”

Campo	Conteúdo
ID	05
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	AVA (automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Enviar log de sincronização”
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Falha ao envio da notificação sobre a sincronização
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao envio da notificação sobre a sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”
Ação	Durante o envio de mensagem do AVA (automático) para o Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático), quando “Enviar log de sincronização” ao ocorrer “Falha ao envio da notificação sobre a sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”.
Rastreabilidade	Piscina “AVA (automático)” para Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na Tarefa de envio “Enviar log de sincronização”

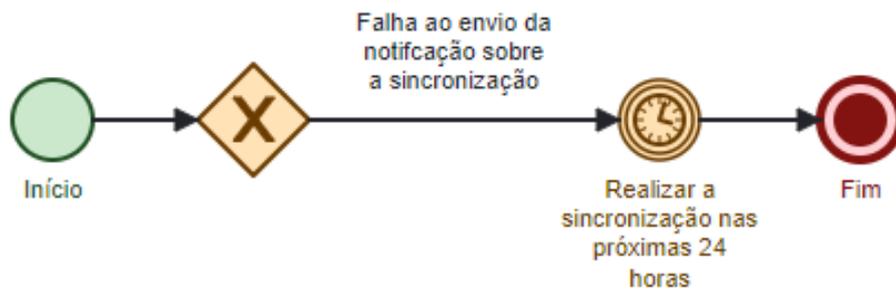


Figura 46 – Subprocesso de tratamento de exceções no envio associado à tarefa “Enviar log de sincronização”

A Tabela 24 apresenta a especificação do requisito de tolerância a falhas identificado a partir da tarefa “Receber chamado” e do seu subprocesso de tratamento de exceções (Figura 47).

Tabela 24 – Requisito de tolerância a falha extraído manualmente da tarefa de recebimento “Receber chamado”

Campo	Conteúdo
ID	06
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	AGETIC UFMS (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber chamado”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	Falha durante o recebimento ou ao receber
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Falha durante o recebimento ou ao receber”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Ajustar o que for necessário”.
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “AGETIC UFMS (parcialmente automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber chamado” ao ocorrer “Falha durante o recebimento ou ao receber”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Ajustar o que for necessário”.
Rastreabilidade	Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Piscina “AGETIC UFMS (parcialmente automático)” na Tarefa de recebimento “Receber chamado”



Figura 47 – Subprocesso de tratamento de exceções de recebimento associado à tarefa “Receber chamado”

A Tabela 25 apresenta a documentação do requisito de tolerância a falha a partir da tarefa “Notificar ao aluno” e do respectivo subprocesso de tratamento de exceções ilustrado na Figura 48.

Tabela 25 – Requisito de tolerância a falha extraído manualmente da tarefa de envio “Notificar ao aluno”

Campo	Conteúdo
ID	07
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	AGETIC UFMS (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao Notificar ao aluno
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Falha ao avisar o aluno e portal indisponível
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao avisar o aluno”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Notificar novamente o aluno”. Para “Portal indisponível”, então “Avisar o aluno de outra”.
Ação	Durante o envio de mensagem do AGETIC UFMS (parcialmente automático) para o Solicitação de matrícula (parcialmente automático), quando “Notificar ao aluno” ao ocorrer “Falha ao avisar o aluno”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Notificar novamente o aluno”; ao ocorrer, “Portal indisponível”, então “Avisar o aluno de outra”.
Rastreabilidade	Piscina “AGETIC UFMS (parcialmente automático)” para Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na Tarefa de envio “Ao Notificar ao aluno”

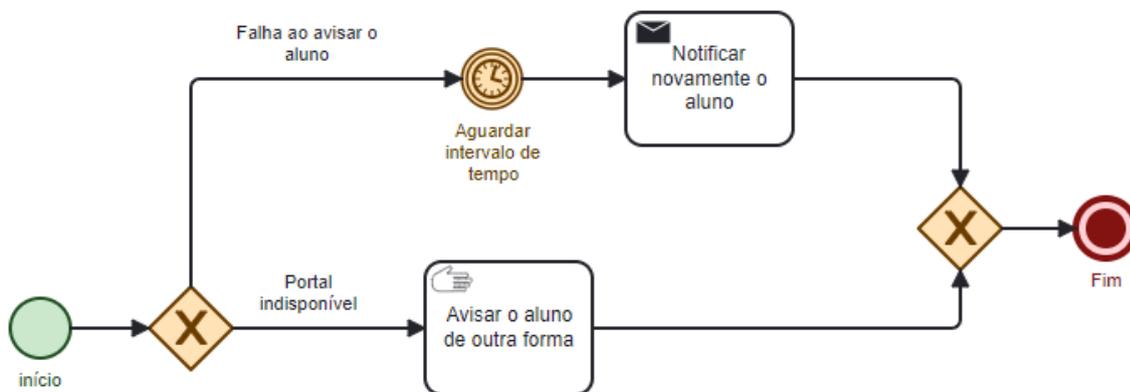


Figura 48 – Subprocesso de tratamento de exceções de envio associado à tarefa “Notificar ao aluno”

Como etapa final do estudo de caso conduzido, tanto o Modelo Detalhado de Missão elaborado como as especificações de todos os requisitos de tolerância a falhas extraídos foram entregues como contrapartida para os analistas de TI da AGETIC. Com base nesses artefatos, os analistas poderão planejar a evolução do SoS Educacional-UFMS caso não esteja atendendo algum dos requisitos de tolerância a falhas identificados e que são importantes tanto para o negócio quanto para manter a estabilidade do SoS.

Em relação às ameaças a validade do estudo de caso realizado, destacam-se as seguintes: (i) apenas um especialista em BPMN aplicou as diretrizes, o que pode afetar os resultados. Para mitigar essa ameaça, quatro analistas do SoS aprovaram os requisitos resultantes; (ii) a seleção do cenário pode ser uma ameaça, ou seja, o PoP considerado do

estudo. Para contorná-la, foi escolhido um PoP real, extremamente útil para a organização envolvida 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 tolerância a falhas a partir de modelos do PoP.

5.4 Prova de Conceito: Construção da Ferramenta de Extração de Requisitos de Tolerância a Falhas baseada em PoP

O objetivo da prova de conceito desenvolvida neste trabalho é validar as diretrizes de extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS definidas na Seção 5.2 por meio da construção de uma ferramenta (denominada PoP-FT-RE - **PoP**-based **F**ault **T**olerance **R**equirements **E**xtraction). Para isso, a especificação dos requisitos extraídos manualmente será comparada com aquela dos requisitos extraídos automaticamente pela ferramenta. Como contribuição complementar, a ferramenta facilita a extração automática desses requisitos.

Devido à importância da ferramenta *PoP Modeler* para o gerenciamento e a modelagem de PoP (Seção 2.4.3 do Capítulo 2) e com o intuito de disseminar a ferramenta PoP-FT-RE, decidiu-se desenvolvê-la como um módulo da *PoP Modeler*. Por isso, para a construção da PoP-FT-RE foram adotadas as mesmas arquitetura e tecnologias de *backend* (Framework Laravel Lumen⁵ e PostgreSQL⁶) e *frontend* (React⁷ e Material IO⁸) utilizadas no desenvolvimento da *PoP Modeler*. A ferramenta PoP-FT-RE está disponível em: <https://popmodeler.ledes.net>. Detalhes do código-fonte e a documentação da ferramenta podem ser obtidos nos seguintes repositórios públicos: <https://github.com/popmodeler/frontend>, <https://github.com/popmodeler/backend> e <https://popmodelerdoc.ledes.net>.

5.4.1 Funcionalidades

A ferramenta PoP-FT-RE tem como público-alvo analistas de negócio, analistas de requisitos de SoS, engenheiros de SoS e outros interessados na extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS. Suas funcionalidades envolvem:

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

⁶ <https://www.postgresql.org>

⁷ <https://react.dev>

⁸ <https://mui.com>

- permitir a extração dos requisitos de tolerância a falhas de forma detalhada e compacta em formato CSV a partir de cada Modelo Detalhado de Missão de um PoP, com base na Tabela 12 e seguindo os templates de especificação de requisitos exibidos nas Tabelas 13 e 14;
- permitir a seleção de idiomas português ou inglês para a extração dos requisitos; e
- permitir a extração dos requisitos a partir de modelos pré-existentes do PoP elaborados na ferramenta BPMN.io.

5.4.2 Interface de Usuário

Para acessar a ferramenta PoP-FT-RE, inicialmente é necessário fazer autenticação na ferramenta PoP *Modeler* e selecionar a opção *PoP Management*, localizada no menu superior da tela principal da ferramenta (exibida na Figura 49). Em seguida, é necessário selecionar uma missão de um determinado PoP por meio do menu *Show PoP*, situado ao lado esquerdo da tela principal, uma vez que a extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS é realizada por missão do PoP.

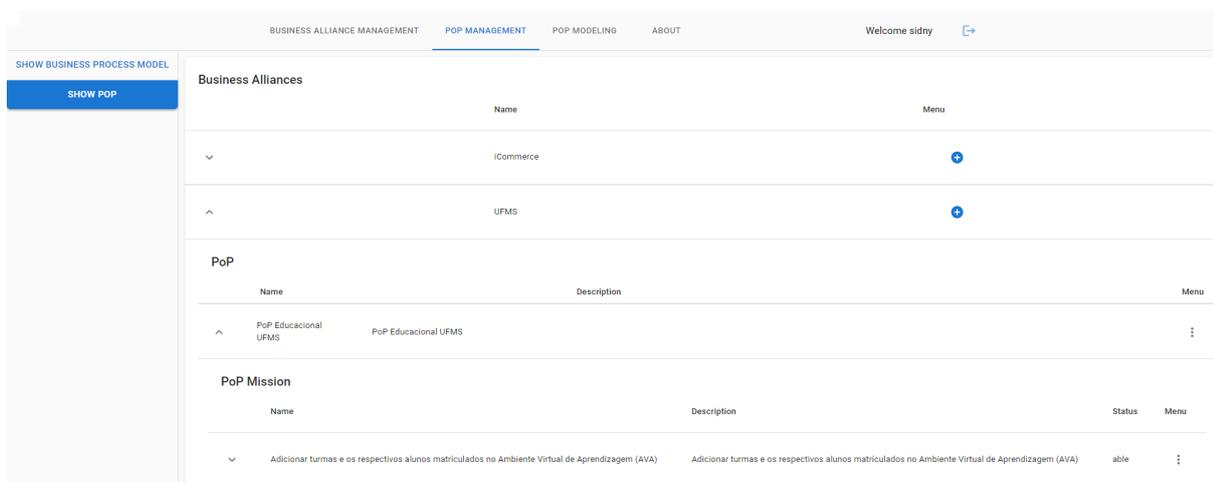


Figura 49 – PoP *Management* - *Show PoP*

Em mais detalhes, para selecionar a missão de um determinado PoP cujos requisitos serão extraídos, é necessário acessar primeiramente as informações de uma aliança de negócio (*Business Alliance*) já cadastrada (no caso, UFMS), clicando na seta indicada para baixo e posicionada ao lado esquerdo do nome da aliança. Como informações da aliança têm-se os seus PoP cadastrados e ao acessar as informações de um determinado PoP (no caso, o PoP Educacional-UFMS) têm-se as suas missões cadastradas.

Para extrair os requisitos de tolerância a falhas de uma determinada missão (no caso, a missão “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)”), basta clicar nos três pontos mostrados na posição vertical

da sua opção Menu e selecionar a quarta opção do menu apresentado (ou seja, *Extract Fault Tolerance Requirements*) e exibido na Figura 50.

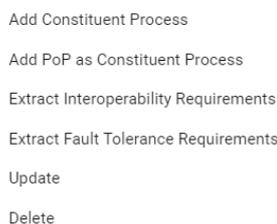


Figura 50 – Opções do Menu PoP *Mission*

Por fim, a ferramenta exibe ao usuário opções para extrair os requisitos de tolerância a falhas de SoS (Figura 51): (i) *Compact* ou (ii) *Detailed*, e (iii) *Portuguese* ou (iv) *English*⁹. Após selecionar a opção desejada e clicar no botão “*Extract Requirements*”, a ferramenta irá exibir o botão “*Download CSV File*” (Figura 51d) para efetuar o download dos requisitos extraídos.

5.4.3 Avaliação

A primeira avaliação foi analisar os resultados produzidos pela ferramenta PoP-FT-RE e, conseqüentemente, observar a capacidade das diretrizes propostas para extrair requisitos de tolerância a falhas de SoS. A PoP-FT-RE foi utilizada para extrair requisitos da mesma missão (ou seja, “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no

⁹ No Apêndice F é apresentado o template para especificação dos requisitos de forma detalhada, no idioma inglês, tanto para o contexto de envio como para o recebimento de retorno de mensagem.

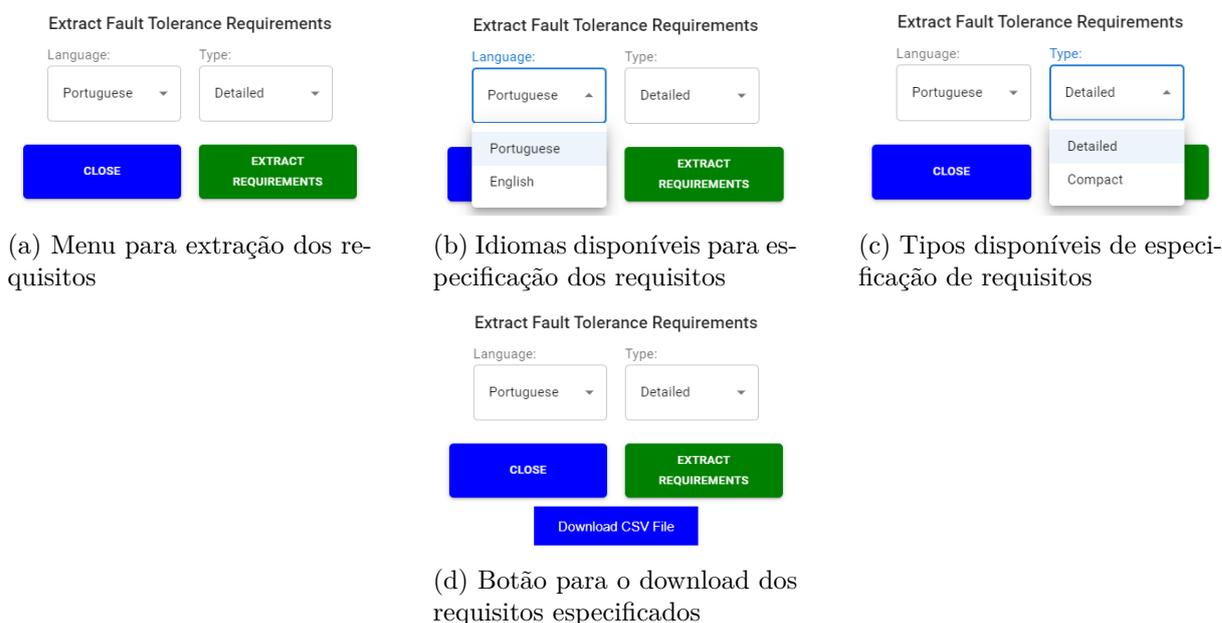


Figura 51 – Botões e opções para especificação dos requisitos

Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)”) do mesmo PoP (ou seja, PoP Educacional-UFMS) considerados no estudo de caso conduzido neste trabalho (Seção 5.3 do Capítulo 5).

As Tabelas 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32 mostram os requisitos de tolerância a falhas do SoS Educacional-UFMS extraídos automaticamente pela ferramenta, de forma detalhada e no idioma português.

Considerando as especificações de cada requisito geradas pela ferramenta e as especificações dos requisitos correspondentes extraídas manualmente durante o estudo de caso, observa-se serem semelhantes. Dessa forma, há fortes indícios de que as diretrizes propostas são eficientes para a extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS alinhados ao negócio.

Tabela 26 – Requisito de tolerância a falha extraído automaticamente da tarefa de envio “Realizar autenticação no Portal Graduação”

Campo	Conteúdo
ID	Activity_0t3g3fe
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar autenticação no Portal Graduação”.
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao realizar autenticação” e “Portal indisponível”.
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Ação	Durante o envio de mensagem do “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar autenticação no Portal Graduação” ao ocorrer “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Rastreabilidade	Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na SendTask “Realizar autenticação no Portal Graduação”.

A segunda avaliação da ferramenta desenvolvida neste trabalho foi conduzida por três analistas de requisitos do SoS Educacional-UFMS. O objetivo dessa avaliação foi ana-

Tabela 27 – Requisito de tolerância a falha extraído automaticamente da tarefa de recebimento “Receber retorno da autenticação”

Campo	Conteúdo
ID	Activity_1vkewyb
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Constituinte de destino	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber retorno da autenticação”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Conteúdo inesperado” e “Falha ao receber retorno”
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber retorno da autenticação” ao ocorrer “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Rastreabilidade	Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na ReceiveTask “Receber retorno da autenticação”

Tabela 28 – Requisito de tolerância a falha extraído automaticamente da tarefa de envio “Realizar envio de matrículas”

Campo	Conteúdo
ID	Activity_1w7v5xp
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar envio de matrículas”
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao enviar matrículas” e “Constituinte indisponível”
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao enviar matrículas”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar envio novamente”. Para “Constituinte indisponível”, então “Realizar envio para outro constituinte provisório”.
Ação	Durante o envio de mensagem do Solicitação de matrícula (parcialmente automático) para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar envio de matrículas” ao ocorrer “Falha ao enviar matrículas”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar envio novamente”; ao ocorrer “Constituinte indisponível”, então “Realizar envio para outro constituinte provisório”.
Rastreabilidade	Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na SendTask “Realizar envio de matrículas”.

lisar a completude, clareza, utilidade e alinhamento ao negócio dos requisitos de tolerância a falhas do SoS Educacional-UFMS extraídos automaticamente pela ferramenta a partir da Missão “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)” do PoP Educacional-UFMS. Além disso, na segunda avaliação os

Tabela 29 – Requisito de tolerância a falha extraído automaticamente da tarefa de recebimento “Receber informações de matrícula”

Campo	Conteúdo
ID	Activity_051bmhz
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Constituinte de destino	AVA (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber informações de matrícula”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”.
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “AVA (automático)”, quando “Receber informações de matrícula” ao ocorrer “Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”.
Rastreabilidade	Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Participant “AVA (automático)” na Receive-Task “Receber informações de matrícula”

Tabela 30 – Requisito de tolerância a falha extraído automaticamente da tarefa de envio “Enviar log de sincronização”

Campo	Conteúdo
ID	Activity_0u3jn6y
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	AVA (automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Notificar sobre a sincronização”
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Falha ao envio da notificação sobre a sincronização
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao envio da notificação sobre a sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”
Ação	Durante o envio de mensagem do AVA (automático) para o Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático), quando “Enviar log de sincronização” ao ocorrer “Falha ao envio da notificação sobre a sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”.
Rastreabilidade	Participant “AVA (automático)” para Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na SendTask “Enviar log de sincronização”

avaliadores observaram a ferramenta PoP-FT-RE quanto à facilidade de uso e utilidade para a elicitación de requisitos de tolerância a falhas, bem como deram feedback sobre recomendar a ferramenta para outros especialistas de SoS e utilizar os requisitos extraídos automaticamente para apoiar a evolução do SoS Educacional-UFMS. O questionário elaborado para coletar o feedback dos participantes está apresentado no Apêndice G.

Tabela 31 – Requisito de tolerância a falha extraído automaticamente da tarefa de recebimento “Receber chamado”

Campo	Conteúdo
ID	Activity_0x3cauf
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	AGETIC UFMS (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber chamado”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	Falha durante o recebimento ou ao receber
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Falha durante o recebimento ou ao receber”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Ajustar o que for necessário”.
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “AGETIC (parcialmente automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber chamado” ao ocorrer “Falha durante o recebimento ou ao receber”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Ajustar o que for necessário”.
Rastreabilidade	Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Participant “AGETIC (parcialmente automático)” na ReceiveTask “Receber chamado”

Tabela 32 – Requisito de tolerância a falha extraído automaticamente da tarefa de envio “Notificar ao aluno”

Campo	Conteúdo
ID	Activity_02gkhzd
Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	AGETIC (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao Notificar ao aluno
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Falha ao avisar o aluno e portal indisponível
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao avisar o aluno”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Notificar novamente o aluno”. Para “Portal indisponível”, então “Avisar o aluno de outra”.
Ação	Durante o envio de mensagem do AGETIC (parcialmente automático) para o Solicitação de matrícula (parcialmente automático), quando “Notificar ao aluno” ao ocorrer “Falha ao avisar o aluno”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Notificar novamente o aluno”; ao ocorrer, “Portal indisponível”, então “Avisar o aluno de outra”.
Rastreabilidade	Participant “AGETIC (parcialmente automático)” para Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na SendTask “Ao Notificar ao aluno”

Os resultados da segunda avaliação da PoP-FT-RE estão apresentados na Figura 52. Considerando a completude dos requisitos extraídos automaticamente, observou-se que os três avaliadores concordaram parcialmente que os requisitos de tolerância a falhas estão completos. Um dos avaliadores observou que “os requisitos poderiam ser complementados com um limite de até três falhas, dependendo do intervalo de sincronização do cenário em questão. Em caso de atingir esse limite, seria necessário abrir um chamado para verificar o ocorrido”. Outro avaliador indicou que “seria útil detalhar mais o campo “ação”, especificando como deve ser realizado o acionamento da Agetic, seja por e-mail, chamado, aplicativo de mensagens, entre outros métodos”. Por fim, o terceiro avaliador ressaltou

que “*aguardar intervalo e tentativa única não são as únicas soluções viáveis. Mesmo em processos não totalmente automatizados, é possível criar redundâncias e alternativas, como tentar em outro dispositivo, rede, navegador ou conta, o que pode ser eficaz*”.

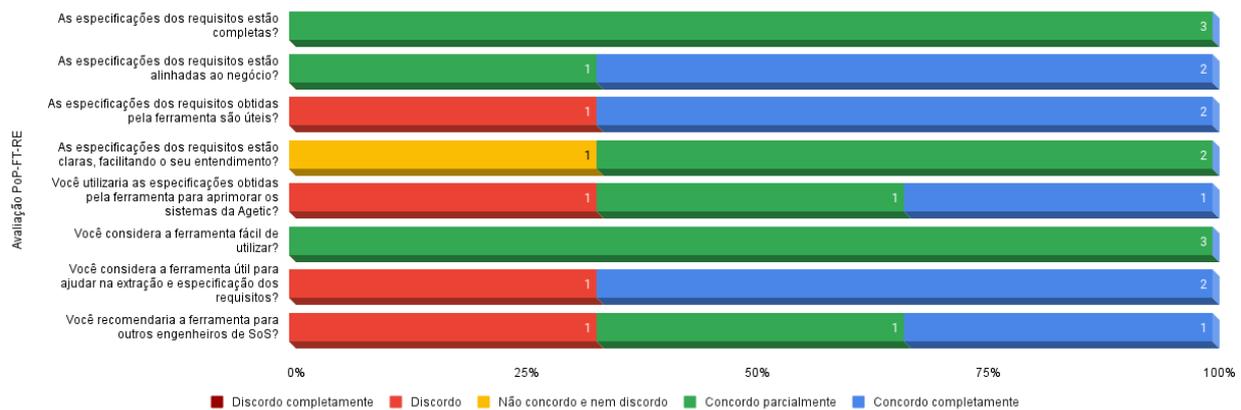


Figura 52 – Visão geral da segunda avaliação da ferramenta PoP-FT-RE

Dois de três participantes da avaliação concordaram plenamente que a especificação dos requisitos de tolerância a falhas de SoS está alinhada com o negócio. No entanto, um participante concordou parcialmente, ao observar que “*enquanto a parte automatizada está de acordo com a realidade, na parte não automatizada existem mais passos e orientações a serem seguidos*”.

Em relação à utilidade da especificação dos requisitos extraídos pela ferramenta, dois participantes concordaram completamente e somente um avaliador discordou.

Quanto à clareza das especificações dos requisitos extraídos pela ferramenta, dois avaliadores concordaram parcialmente, pois apontaram que “*alguns textos não estão claros, mas não foram informados quais e não ficou claro se haveria problemas nos itens de sincronização entre SISCAD e AVA, mas que seria útil acionar a AGETIC após um certo número de falhas*”. Apenas um avaliador não decidiu sobre a sua escolha, pois acredita que “*a última ação que seria manual sugere aguardar intervalo de tempo e não deixa claro outras ações*”.

Quanto ao uso das especificações obtidas pela ferramenta para potencialmente aprimorar o SoS Educacional-UFMS, um avaliador concordou completamente, outro concordou parcialmente sem justificar sua escolha. Já o terceiro discordou, pois notou que “*não vê isso (os requisitos de tolerância a falhas especificados) na aplicação (ou seja, no SoS)*”.

Em relação à facilidade de uso da ferramenta, todos os três avaliadores concordaram parcialmente; porém, somente um participante notou que “*apesar de não ter experiência suficiente com a ferramenta, acredita que ela é fácil de utilizar*”.

Quanto à utilidade da ferramenta para auxiliar na extração e especificação dos re-

quisitos de tolerância a falhas, dois avaliadores concordaram completamente e somente um discordou pois, notou que “*não vê isso (os requisitos de tolerância a falhas) na aplicação*”.

Sobre a recomendação da ferramenta para outros engenheiro de SoS, um avaliador concordou completamente e o outro concordou parcialmente, mas não apresentou justificativa para a sua escolha. Já o terceiro avaliador discordou, ao acreditar que “*por ainda ser um projeto em fase inicial, seria interessante disponibilizar mais funcionalidades (na ferramenta) para atrair a sua utilização*”; porém, o participante não indicou quais outras funcionalidades poderiam ser adicionadas na ferramenta.

Em suma, os resultados obtidos apontam que, de maneira geral, os requisitos extraídos pela ferramenta são úteis, claros e alinhados ao negócio; e podem ser possivelmente utilizados para aprimorar o SoS. Além disso, os feedbacks fornecidos pelos especialistas podem ser valiosos para aprimorar o Modelo Detalhado de Missão explorado neste trabalho no âmbito do PoP Educacional-UFMS.

5.4.4 Discussões

De maneira geral, a extração automática dos requisitos de tolerância a falhas do SoS Educacional-UFMS com o apoio da PoP-FT-RE foi bem-sucedida e seguiu conforme planejado. Ao utilizar a ferramenta PoP-FT-RE considerando como entrada o Modelo Detalhado da Missão “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)” do PoP Educacional-UFMS (Figura 41), obteve-se como resultado a especificação de sete requisitos de tolerância a falhas. Desses, quatro requisitos foram especificados no contexto de envio de mensagens (apresentados nas Tabelas 26, 28, 30 e 32), e três no contexto de recebimento de retorno de mensagens (exibidos nas Tabelas 27, 29 e 31).

A partir da análise comparativa do conteúdo das especificações obtidas manualmente e as especificações correspondentes, geradas automaticamente pela ferramenta PoP-FT-RE, observa-se serem similares. Para ilustrar a similaridade observada, a Tabela 33 apresenta a comparação de um requisito de tolerância a falhas extraído a partir de uma tarefa de envio de mensagem e a Tabela 34 apresenta outro requisito de tolerância a falhas identificado a partir de uma tarefa de recebimento de retorno de mensagem. A comparação de todos os requisitos obtidos manualmente e gerados pela ferramenta está apresentada no Apêndice E. Os resultados obtidos da análise mostram indícios da viabilidade técnica das diretrizes propostas tanto para apoiar manualmente a extração de requisitos de tolerância a falhas a partir de modelos do PoP quanto para subsidiar a construção de uma ferramenta de apoio.

Tabela 33 – Comparação da especificação dos requisitos de tolerância a falha extraído manualmente e automaticamente da tarefa de envio “Realizar autenticação no Portal Graduação”

Extração Manual		Extração Automática	
Campo	Conteúdo	Campo	Conteúdo
ID	01	ID	Activity_0t3g3fe
Classe	Tolerância a falhas	Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS	Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)	Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)	Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar autenticação no Portal Graduação”	Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar autenticação no Portal Graduação”
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao realizar autenticação” e “Portal indisponível”	Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao realizar autenticação” e “Portal indisponível”
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”	Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”
Ação	Durante o envio de mensagem do “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar autenticação no Portal Graduação” ao ocorrer “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”	Ação	Durante o envio de mensagem do “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar autenticação no Portal Graduação” ao ocorrer “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”
Rastreabilidade	Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na Tarefa de envio “Realizar autenticação no Portal Graduação”	Rastreabilidade	Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na SendTask “Realizar autenticação no Portal Graduação”

Tabela 34 – Comparação da especificação dos requisitos de tolerância a falha extraído manualmente e automaticamente da tarefa de recebimento “Receber retorno da autenticação”

Extração Manual		Extração Automática	
Campo	Conteúdo	Campo	Conteúdo
ID	02	ID	Activity_1vkewyb
Classe	Tolerância a falhas	Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS	Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)	Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Constituinte de destino	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)	Constituinte de destino	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber retorno da autenticação”	Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber retorno da autenticação”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Conteúdo inesperado” e “Falha ao receber retorno”	Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Conteúdo inesperado” e “Falha ao receber retorno”
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”	Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber retorno da autenticação” ao ocorrer “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”	Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber retorno da autenticação” ao ocorrer “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Rastreabilidade	Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na Tarefa de recebimento “Receber retorno da autenticação”	Rastreabilidade	Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na ReceiveTask “Receber retorno da autenticação”

A ferramenta desenvolvida facilita a manipulação (por exemplo, ordenação) e formatação dos requisitos extraídos pois disponibiliza-os em formato textual, em um arquivo com extensão CSV. Ressalta-se que o formato da especificação dos requisitos identificados pela ferramenta está em conformidade com os templates definidos nas diretrizes de extração, que são baseados na sintaxe para especificação de requisitos indicada pela ISO 29148 (ISO/IEC 29148, 2018). Consequentemente, acredita-se que as especificações geradas são completas, pois levam em consideração todos os aspectos considerados importantes pelas diretrizes definidas para a caracterização de requisitos de tolerância a falhas de SoS. Além disso, a especificação evidencia a rastreabilidade entre os níveis de negócio e técnico, visto que registra a origem de cada requisito de tolerância a falhas do SoS a partir de elementos do PoP. Por fim, a ferramenta pode contribuir para o refinamento dos modelos de PoP utilizados (ou seja, Modelo Detalhado de Missão). O resultado da análise da completude da especificação dos requisitos de tolerância a falhas de um SoS pode revelar a ausência de informações importantes nos modelos de PoP, indicando a necessidade de detalhamento adicional ou investigação mais aprofundada. Assim, é possível melhorar a qualidade dos modelos de PoP e dos requisitos extraídos, promovendo um processo incremental de melhoria contínua tanto em nível de negócio quanto em nível técnico.

5.4.5 Ameaças à Validade

Em relação às ameaças à validade da PoP-FT-RE, destacam-se: (i) *limitação do domínio do Modelo Detalhado de Missão utilizado*: para mitigar essa ameaça é necessário utilizar modelos de outros domínios em avaliações futuras; (ii) *extração dos requisitos comprometida*: para evitar essa ameaça, observou-se a conformidade de cada Modelo Detalhado de Missão utilizado com os cenários abstratos de tratamento de exceções (Capítulo 4); e (iii) *número reduzido de avaliadores*: para contornar essa ameaça, é necessário conduzir avaliações complementares da PoP-FT-RE com um número maior de engenheiros de SoS e de PoP distintos.

5.4.6 Recomendações

Para que a ferramenta PoP-FT-RE extraia requisitos de tolerância a falhas de SoS de maneira apropriada, conforme preconizado pelas diretrizes propostas, os modelos do PoP (em particular, o Modelo Detalhado de cada Missão do PoP) utilizados como entrada para o processo de extração devem estar em conformidade com os cenários abstratos definidos e, consequentemente, aos elementos BPMN identificados na Tabela 12 (Seção 5.2). Além disso, para a visualização dos requisitos extraídos pela ferramenta, é primordial selecionar um dos templates detalhado (Tabelas 13 e 14) ou compacto (Tabelas 15 e 16) para especificação dos requisitos de tolerância a falhas.

Em mais detalhes, durante a modelagem de cada Modelo Detalhado de Missão do PoP que será utilizado pela ferramenta para a extração dos requisitos de tolerância a falhas, é crucial destacar a importância de utilizar tarefas do tipo envio e recebimento de mensagens da notação BPMN associadas a um link de interoperabilidade (representado por fluxo de mensagem do BPMN), com o evento intermediário de erro BBPMN na borda dessas tarefas e associado a um subprocesso de tratamento de exceção por meio de um fluxo de sequência. Com isso, é possível que a ferramenta reconheça o momento da falha (por meio do elemento BPMN de erro anexado à borda das tarefas). Adicionalmente, as possíveis falhas precisam ser representadas em subprocessos expandidos de tratamento de exceção no envio ou no recebimento. Cada falha é representada no subprocesso por meio de um fluxo de sequência que sai de um desvio exclusivo e contém em seu fluxo de execução a representação dos elementos BPMN necessários para realizar o tratamento de tal falha. O fluxo de execução do subprocesso encerra com um evento de fim *terminate*.

Caso o Modelo Detalhado de Missão do PoP contenha alguma tarefa diferente dos tipos tarefa de envio e tarefa de recebimento de mensagem (ou seja, *User Task*, *Service Task*, *Manual Task*, *Business Rule Task*, *Script Task* e *Call Activity Task*) com o evento intermediário de erro em sua borda, associado com um subprocesso de tratamento de exceções, a ferramenta irá desconsiderar essas tarefas durante a extração dos requisitos. Isso se deve ao fato de que é essencial utilizar tarefas do tipo de envio e de recebimento de mensagem para representar a interoperabilidade no contexto do PoP. Além disso, para que as informações dos elementos BPMN utilizados para modelar o subprocesso de tratamento de exceções sejam adequadamente utilizadas no processo de extração de requisitos pela ferramenta, é imprescindível considerar os seguintes elementos BPMN: evento intermediário temporal, evento intermediário de envio, evento intermediário de recebimento, tarefa de envio, tarefa de recebimento, tarefa manual, desvio exclusivo e evento de fim *terminate*. Quaisquer elementos distintos desses serão desconsiderados pela ferramenta.

Um outro ponto importante que merece ser enfatizado é o uso do evento de início (*startEvent*) de recebimento de mensagem (*messageEventDefinition*), evento intermediário de envio (*intermediateThrowEvent*) e de recebimento (*intermediateCatchEvent*) de mensagem (*messageEventDefinition*) ou evento de fim (*endEvent*) de envio de mensagem (*messageEventDefinition*) durante a interoperabilidade (*messageFlow*) entre tarefas de envio (*sendTask*) e/ou de recebimento de mensagem (*receiveTask*) na modelagem de um Modelo Detalhado de Missão do PoP.

Ao utilizar os elementos supracitados no fluxo de execução principal do processo (ou seja, sem utilizá-los no subprocesso de tratamento de exceções), a ferramenta irá extrair somente os requisitos relacionados às tarefas de envio ou de recebimento de mensagem que possui um evento intermediário de erro anexado na borda. Nesse caso, a ferramenta

somente irá extrair o nome do constituinte, origem ou destino em que esses elementos estão especificados para que a identificação dos requisitos de tolerância a falhas do SoS não seja comprometida. A Figura 53 exemplifica essa situação de maneira fictícia, apresentando um ícone de verificação na cor verde associado ao elemento BPMN utilizado na extração de requisitos de tolerância a falhas e um ícone de erro na cor vermelha associado ao elemento BPMN que é desprezado pela ferramenta durante a extração.

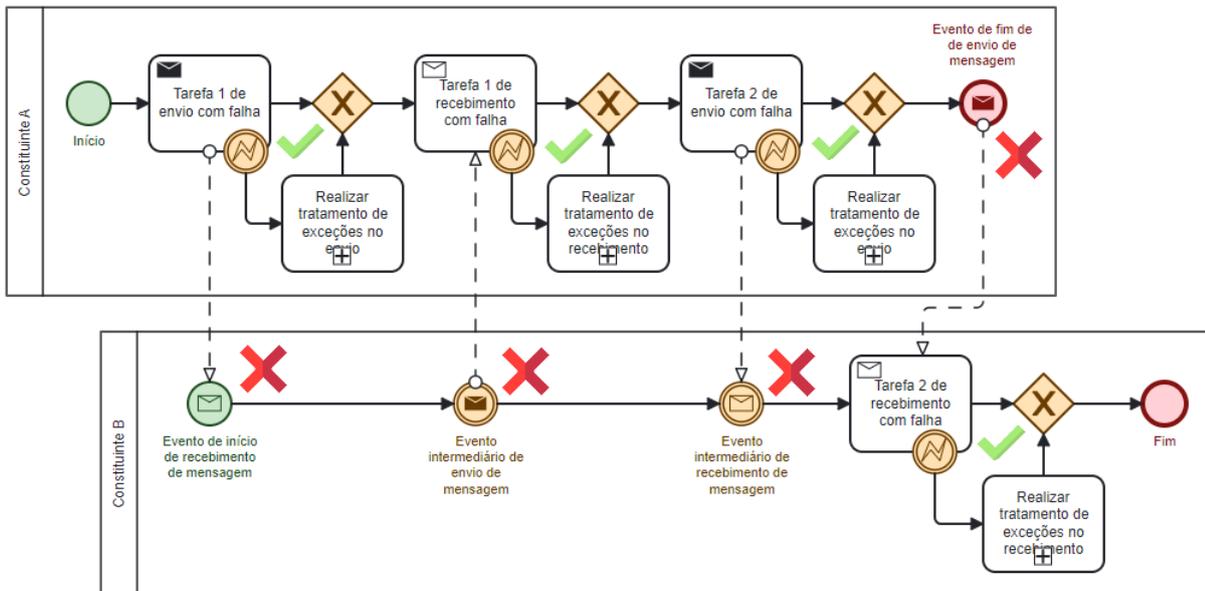


Figura 53 – Exemplo 1 de modelagem não recomendada para o Modelo Detalhado de Missão do PoP visando a extração de requisitos de tolerância a falhas

A Figura 54 ilustra um exemplo fictício do uso de elementos BPMN apropriadamente para a extração dos requisitos de interesse. Em particular, caso não exista a presença de falhas durante a interoperabilidade entre processos constituintes no Modelo Detalhado de Missão do PoP, recomenda-se o uso de eventos intermediários de envio e de recebimento de mensagem associados a um fluxo de mensagem. Caso haja a presença de falhas, recomenda-se o uso das tarefas de envio e de recebimento de mensagem com o evento intermediário de erro na borda durante a interoperabilidade e associado ao subprocesso de tratamento de exceções por meio de fluxo de mensagem.

Caso a modelagem do Modelo de Detalhado de Missão do PoP considere tarefas de envio e/ou de recebimento de mensagem com evento intermediário de erro associado à borda e com representação do subprocesso de tratamento de exceções, mas sem interoperabilidade (ou seja, fluxo de mensagem) associada entre as tarefas, a ferramenta não realizará a extração dos requisitos. Essa situação é ilustrada na Figura 55, observando a tarefa de envio denominada “*tarefa de envio com falha (3)*” e a tarefa de recebimento denominada “*tarefa de recebimento com falha (3)*” com falhas, porém sem interoperabilidade associada.

Em outra situação, caso o Modelo Detalhado de Missão do PoP possua uma ou

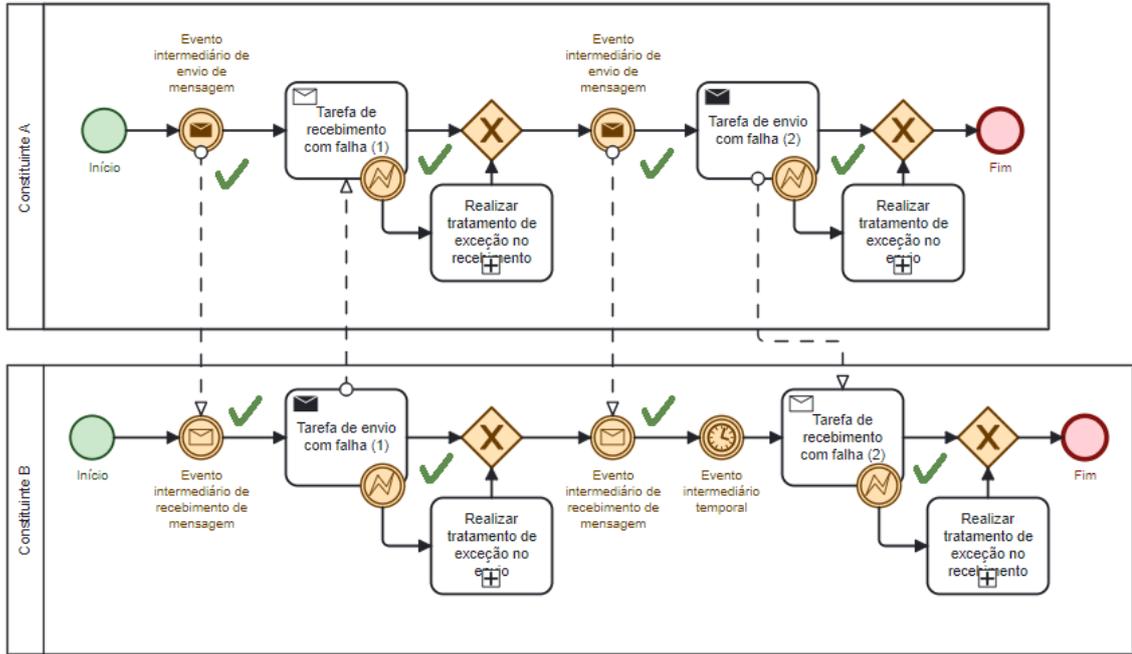


Figura 54 – Exemplo 1 de modelagem recomendada para o Modelo Detalhado de Missão do PoP visando a extração de requisitos de tolerância a falhas

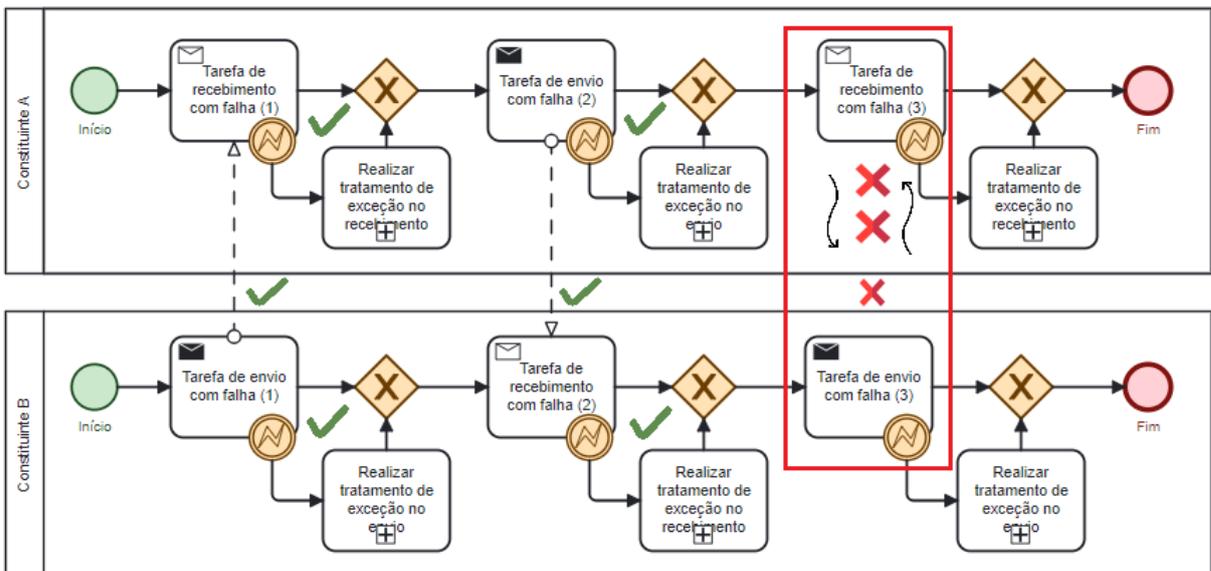


Figura 55 – Exemplo 2 de modelagem não recomendada para o Modelo Detalhado de Missão do PoP visando a extração de requisitos de tolerância a falhas

mais tarefas de envio, ou de recebimento de mensagem sem falha (ou seja, sem evento intermediário de erro associado à borda), mas com interoperabilidade associada, a ferramenta não extrairá requisitos de tolerância a falhas, pois esses requisitos somente são identificados pela ferramenta quando há tarefas de envio e de recebimento de mensagem com falhas e com o devido tratamento de exceções representado num subprocesso.

Além disso, caso o Modelo Detalhado de Missão do PoP possua uma ou mais tarefas de envio ou de recebimento de mensagem com falha e com interoperabilidade representadas, mas sem o subprocesso de tratamento de exceções ou com esse subprocesso

vazio, a ferramenta também não irá extrair os requisitos de tolerância a falhas para não comprometer a completude das especificações dos requisitos, pois o modelo não está em conformidade com as premissas estabelecidas nas diretrizes de extração definidas (Seção 5.2). A Figura 56 ilustra essa situação.

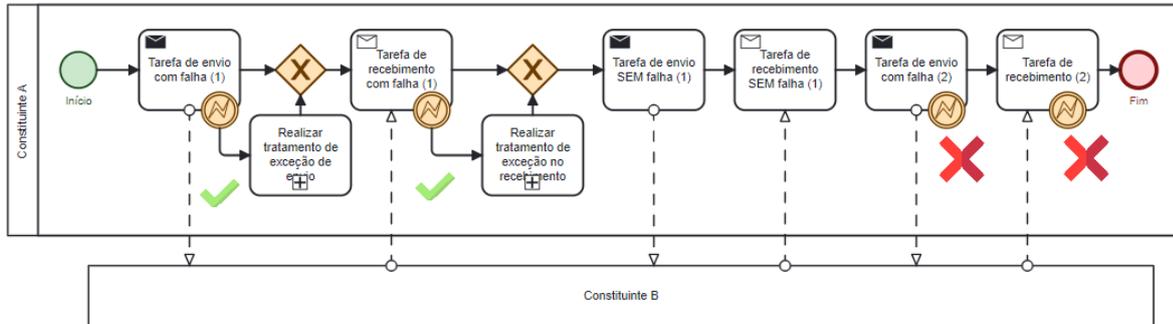


Figura 56 – Exemplo 3 de modelagem não recomendada para o Modelo Detalhado de Missão do PoP visando a extração de requisitos de tolerância a falhas

Com base nas situações discutidas nesta seção e apresentadas nas Figuras 53, 54, 55 e 56, a Tabela 35 foi elaborada e apresenta os elementos BPMN recomendados e não recomendados para a extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS.

Tabela 35 – Elementos BPMN recomendados e não recomendados para a extração de requisitos de tolerância a falhas durante a interoperabilidade com o apoio da ferramenta PoP-FT-RE

Contexto de Envio	Contexto de Recebimento	Possui requisitos?
Tarefa de envio com evento intermediário de erro associado à borda, associado a um fluxo de mensagem (link de interoperabilidade) e a um subprocesso de tratamento de exceções	Tarefa de recebimento com evento intermediário de erro associado à borda, associado a um fluxo de mensagem (link de interoperabilidade) e a um subprocesso de tratamento de exceções	Sim
Tarefa de envio com evento intermediário de erro associado à borda, associado a um fluxo de mensagem (link de interoperabilidade) e a um subprocesso de tratamento de exceções	Constituinte privado	Sim
Constituinte privado	Tarefa de recebimento com evento intermediário de erro associado à borda, associado a um fluxo de mensagem (link de interoperabilidade) e a um subprocesso de tratamento de exceções	Sim
Constituinte privado	Evento de início de recebimento	Não possui
Constituinte privado	Evento intermediário de recebimento	Não possui
Tarefa de envio com evento intermediário de erro associado à borda, associado a um fluxo de mensagem (link de interoperabilidade) e a um subprocesso de tratamento de exceções	Evento de início de recebimento	Sim, mas parcial
Tarefa de envio com evento intermediário de erro associado à borda, associado a um fluxo de mensagem (link de interoperabilidade) e a um subprocesso de tratamento de exceções	Evento intermediário de recebimento	Sim, mas parcial
Evento intermediário de envio	Tarefa de envio com evento intermediário de erro associado à borda, associado a um fluxo de mensagem (link de interoperabilidade) e a um subprocesso de tratamento de exceções	Sim, mas parcial
Evento intermediário de envio	Evento de início de recebimento	Não possui
Evento intermediário de envio	Evento intermediário de recebimento	Não possui
Evento de fim de envio	Evento de início de recebimento	Não possui
Evento de fim de envio	Tarefa de envio com evento intermediário de erro associado à borda, associado a um fluxo de mensagem (link de interoperabilidade) e a um subprocesso de tratamento de exceções	Sim, mas parcial
Evento de fim de envio	Evento intermediário de recebimento	Não possui
Evento de fim de envio	Constituinte privado	Não possui
Constituinte privado	Constituinte privado	Não possui
Constituinte privado	Constituinte privado	Não possui

5.5 Considerações Finais

Este capítulo abordou o estabelecimento de diretrizes para a extração sistemática de requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de modelos PoP automatizadas por uma ferramenta de apoio. As diretrizes definidas foram avaliadas por meio de um estudo de caso, considerando a extração dos requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de um PoP real, e por meio de uma prova de conceito. Essa prova de conceito resultou na construção da ferramenta PoP-FT-RE para automatizar o processo de extração baseado nas diretrizes estabelecidas e mostrou indícios sobre a viabilidade técnica dessas diretrizes na extração dos requisitos de interesse de forma completa e alinhados com o nível de negócio ao comparar os resultados obtidos pela ferramenta com os resultados do estudo

de caso, considerando o mesmo PoP como objeto de estudo (ou seja, PoP Educacional-UFMS). A ferramenta PoP-FT-RE também obteve feedback de analistas de requisitos do SoS Educacional-UFMS em relação à utilidade e facilidade de uso, bem como completude e alinhamento ao nível do negócio das especificações dos requisitos extraídos automaticamente. Esse alinhamento tem um papel fundamental para assegurar a estabilidade e o bom funcionamento do SoS, visando o cumprimento de suas missões em conformidade com os objetivos estratégicos de alianças de organizações.

Este capítulo também retratou ser possível extrair requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de PoP modelados na notação BPMN, particularmente elementos identificados como essenciais para isso, como tarefas de envio e de recebimento de mensagem que apresentaram falhas (observados por meio do evento intermediário de erro anexado à borda da tarefa), as falhas ocorridas (observadas a partir dos fluxos de sequência que saem de um desvio exclusivo modelado no subprocesso que representa o tratamento de exceções) e o tratamento de exceções propriamente dito no envio ou no recebimento de mensagem para contornar tais falhas.

Por fim, o capítulo apresentou algumas situações de modelagem recomendada para a extração bem-sucedida de requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de PoP pela ferramenta desenvolvida a partir das diretrizes de extração definidas. Situações de modelagem não recomendadas também foram discutidas para serem evitadas durante a construção de Modelos Detalhados de Missão de PoP, os quais são os modelos utilizados como entrada da ferramenta PoP-FT-RE.

O próximo capítulo discorre sobre as contribuições, limitações e desdobramentos de trabalhos futuros desta dissertação de mestrado.

6 Conclusão

6.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo é apresentada a conclusão deste trabalho de mestrado, que colaborou para o avanço do estado da arte em Engenharia de Requisitos de SoS. Na Seção 6.2 são descritas as contribuições decorrentes da pesquisa conduzida. Na Seção 6.3 são discutidas as principais limitações e desafios observados, principalmente a partir dos resultados do estudo de caso e da prova de conceito. Por fim, na Seção 6.4 são delineadas sugestões de trabalhos futuros, que representam desdobramentos da pesquisa realizada.

6.2 Contribuições

Este trabalho colaborou para o avanço da Engenharia de Requisitos de SoS alinhada ao negócio, especialmente nas etapas de extração e especificação de requisitos com enfoque em um tipo de requisito de confiabilidade, ou seja, tolerância a falhas. Para viabilizar o alinhamento dos requisitos de tolerância a falhas de SoS aos processos de negócio de alianças de organizações (ou seja, PoP), os requisitos são extraídos a partir de informação valiosa sobre o tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP representada em modelos de processos de negócio. Com isso, o trabalho contribuiu para o estado da arte uma vez que possibilita que esses requisitos não funcionais de SoS sejam extraídos em fases iniciais do ciclo de vida do SoS e estejam alinhados às falhas que podem ocorrer durante a interoperabilidade em nível de negócio, colaborando para manter a estabilidade do SoS que automatiza os processos de negócio das alianças de organizações e para alcançar os seus objetivos estratégicos de negócio.

Para responder à questão de pesquisa principal “*Como facilitar a extração sistemática de requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de informação relevante do nível de negócio de alianças de organizações para garantir a interoperabilidade dos sistemas constituintes?*”, este trabalho definiu uma abordagem para extrair de maneira sistemática e automática requisitos de tolerância a falhas na interoperabilidade de SoS direcionados alinhados ao nível de negócio, cooperando para alcançar os objetivos estratégicos de alianças de organizações uma vez que seus processos de negócio são normalmente automatizados por SoS. Para a concepção da abordagem definida, foi necessário entender quais elementos BPMN de modelos PoP poderiam fornecer informação valiosa para serem considerados fontes de informação alvo para viabilizar a extração dos requisitos não funcionais de interesse. Para isso, foram modelados cenários concretos de PoP reais visando representar situações comumente encontradas de falhas e de tratamento de exceções durante a intero-

perabilidade de processos constituintes. Essas situações foram analisadas e modeladas em cenários abstratos, que indicaram os elementos BPMN fundamentais para modelar tratamento de exceções em PoP e, conseqüentemente, para estender o metamodelo do PoP. Os cenários abstratos também são contribuições importantes deste projeto de mestrado pois apoiam os analistas de processos a modelarem de maneira apropriada o tratamento de exceções durante a interoperabilidade entre processos constituintes no contexto de PoP direcionados. A partir do conhecimento sobre os elementos BPMN essenciais para a extração dos requisitos de tolerância a falhas de SoS direcionados e documentados no metamodelo estendido do PoP, foi concebido um conjunto de diretrizes que sistematiza a extração desses elementos presentes em modelos PoP e especifica os requisitos com o apoio de templates definidos para isso que estão em conformidade com a sintaxe de especificação de requisitos da [ISO/IEC 29148 \(2018\)](#). Particularmente, a especificação dos requisitos de tolerância a falhas de SoS pode ser gerada de maneira detalhada (explicitando o constituinte de origem e de destino, o momento da ocorrência da falha, quais falhas foram apresentadas e como resolvê-las) ou compacta (considerando somente o id, classe, sujeito, ação e a rastreabilidade do requisito).

Do ponto de vista de contribuição tecnológica e de inovação, este trabalho desenvolveu a ferramenta PoP-FT-RE, que foi projetada com base nas diretrizes estabelecidas, possibilitando a validação das mesmas e contribuindo para a extração automática de requisitos de tolerância a falhas de SoS.

Ressalta-se também o estabelecimento de uma parceria entre o nosso grupo de pesquisa e a Agetic/UFMS durante a execução deste projeto de mestrado. Essa parceria possibilitou a transferência do conhecimento gerado na academia para a indústria e o feedback da indústria em relação a artefatos produzidos neste trabalho, colaborando para a obtenção de benefícios mútuos. De um lado, a Agetic recebeu como contrapartida os modelos do PoP Educacional-UFMS e a especificação dos requisitos de tolerância a falhas do SoS que automatiza esse PoP, permitindo o entendimento comum desse PoP e dos requisitos pelos seus colaboradores, o que pode contribuir para a evolução e a estabilidade do SoS Educacional-UFMS. Do outro lado, os pesquisadores envolvidos receberam informações sobre o funcionamento de um PoP real, o que permitiu a modelagem de cenários reais de tratamento de exceções no contexto de PoP, e o feedback sobre os resultados obtidos na pesquisa, sendo os requisitos de tolerância a falhas do SoS Educacional-UFMS extraídos automaticamente pela ferramenta desenvolvida. Esse feedback contribuirá significativamente para o aprimoramento da PoP-FT-RE com o intuito de despertar o interesse pela ferramenta por empresas que desenvolvem ou evoluem SoS.

Por fim, como contribuição secundária, mas não menos importante, este trabalho de mestrado possibilitou levantar o estado da arte sobre como os requisitos de tolerância a falhas são tratados ao longo do ciclo de vida do SoS por meio da condução de um

mapeamento sistemático da literatura. Os resultados do mapeamento evidenciaram que esses requisitos são derivados principalmente pela presença de falhas que podem ocorrer durante a comunicação entre os sistemas constituintes e, de modo geral, são especificados por meio de modelos e diagramas no nível de projeto arquitetural.

Alguns resultados produzidos nesta dissertação foram disseminados por meio de publicações em eventos da área e outros serão submetidos em veículos relevantes:

1. [Molina, Paiva e Cagnin \(2022\)](#). Tratamento de Requisitos de Confiabilidade de Sistemas-de-Sistemas: Um Mapeamento Sistemático da Literatura. In: XXV Congresso Ibero-Americano em Engenharia de Software (Qualis B2). Disponível em: <https://doi.org/10.5753/cibse.2022.20981>;
2. [Molina et al. \(2023\)](#). Cenários Abstratos de Tratamento de Exceções na Interoperabilidade de Processos-de-Processos de Negócios. Anais do V Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software (MSSiS 2023) (Qualis B4). Disponível em: <https://doi.org/10.5753/mssis.2023.235463>;

Para registrar a propriedade intelectual referente ao desenvolvimento da ferramenta PoP-FT-RE, foi realizado o registro de software junto ao INPI, sob o processo N^o BR512024000971-0 ([CAGNIN; COSTA; MOLINA, 2024](#)).

6.3 Desafios e Limitações

É importante salientar o desafio constante de conduzir a pesquisa de maneira rigorosa e metodologicamente adequada, a fim de produzir resultados confiáveis e relevantes para o avanço do conhecimento sob a perspectiva de extração e especificação de requisitos de confiabilidade de SoS, com enfoque em tolerância a falhas, a partir de modelos de PoP. Além disso, outros desafios específicos surgiram ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Um dos desafios enfrentados foi a dificuldade de encontrar detalhes sobre cenários reais que lidam com falhas durante a interoperabilidade em PoP, automatizados por sistemas de software que possuem as características peculiares de SoS, como independência operacional e gerencial, distribuição, comportamento emergente e arquitetura dinâmica. Além disso, houve outros desafios decorrentes relacionados a identificar quais falhas poderiam ocorrer durante a interoperabilidade entre os processos do PoP e selecionar os elementos BPMN mais apropriados para ser possível modelar esses cenários concretos.

Outro desafio foi representar nos cenários abstratos as diversas possíveis falhas que podem ocorrer durante a interoperabilidade em PoP, ou seja, no envio e no recebimento de retorno de mensagem, sem poluir o modelo de processo de negócio. Após várias discussões,

decidiu-se abstrair as falhas e os respectivos tratamentos de exceções em subprocessos BPMN conectados às tarefas de envio e de recebimento.

Por fim, foram enfrentados alguns desafios durante o desenvolvimento da ferramenta PoP-FT-RE, pois foi necessário entender trechos do código-fonte da PoP *Modeler* para que a ferramenta desenvolvida fosse acoplada como um módulo dela. Além disso, foi necessário compreender a estrutura do XML gerado pela ferramenta bpmn.io para extrair de maneira adequada os requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir dos elementos BPMN nele registrados.

Em relação às limitações, o trabalho desenvolvido está restrito à extração de requisitos de tolerância a falhas para SoS direcionados, uma vez que não foram explorados outras classificações de SoS, como reconhecido, colaborativo e virtual. Portanto, não é possível generalizar a aplicação da abordagem definida e a utilização da ferramenta desenvolvida para qualquer tipo de SoS.

Outra limitação está relacionada ao tratamento de exceções exclusivamente durante a interoperabilidade entre tarefas de envio e de recebimento de retorno de mensagens. Isso significa que as diretrizes de extração e, conseqüentemente, a ferramenta PoP-FT-RE somente poderão extrair requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir dessas tarefas. Essa limitação é derivada da representação de falhas e de seus respectivos tratamentos durante a interoperabilidade em PoP estabelecida nos cenários abstratos e definida por meio de tarefas de envio e de recebimento de mensagens. Além disso, a notação BPMN não permite representar falhas na interoperabilidade entre eventos intermediários (por exemplo, conectando a eles eventos intermediários de erro de borda, como discutido na Seção 5.4.6 do Capítulo 5).

Os elementos BPMN de tratamento de exceções utilizados no trabalho são limitados apenas aos cenários reais explorados durante o desenvolvimento deste projeto de mestrado. Conseqüentemente, as diretrizes de extração e a ferramenta PoP-FT-RE consideram somente os elementos BPMN identificados a partir desses cenários. Devido a isso, antes de aplicar as diretrizes de extração ou utilizar a ferramenta desenvolvida é necessário garantir que a representação dos tratamentos de exceções nos Modelos Detalhados de Missão do PoP que serão utilizados como base para a extração dos requisitos esteja em conformidade com os cenários abstratos definidos.

Outra limitação que merece ser mencionada se refere à quantidade reduzida de participantes nas diferentes etapas de avaliação do trabalho (ou seja, avaliação dos cenários abstratos, das diretrizes de extração e da ferramenta de apoio) e também ao domínio e complexidade do PoP utilizado particularmente no estudo de caso e na avaliação da ferramenta PoP-FT-RE.

6.4 Perspectivas de Trabalhos Futuros

Este trabalho de mestrado apresenta diversas perspectivas de direcionamento para pesquisas futuras. Os trabalhos futuros a serem explorados abrangem:

1. Explorar outros cenários reais que englobem outros tipos de PoP (como reconhecido, colaborativo e virtual correspondentes às classificações de SoS que os automatizam) com complexidade e domínio distintos para refinar os elementos BPMN essenciais para a representação de falhas e tratamento de exceções durante a interoperabilidade de PoP. Esse refinamento oportunizará a evolução do metamodelo do PoP, das diretrizes de extração e da ferramenta de apoio;
2. Avaliar as diretrizes de extração e da ferramenta de apoio considerando PoP distintos em relação ao tipo, complexidade e domínio, bem como com uma quantidade significativa de participantes com o intuito de obter resultados relevantes com significância estatística;
3. Adicionar uma funcionalidade na *PoP Modeler* para verificar se a modelagem de tratamento de exceções de Modelos Detalhados de Missão está em conformidade com os cenários abstratos definidos; e
4. Explorar o uso do método *Delphi*¹ (DALKEY; BROWN; COCHRAN, 1969) para compreender os níveis de concordância de especialistas em BPMN sobre como os cenários abstratos de tratamento de exceções (MOLINA et al., 2023) podem estabilizar a interoperabilidade em PoP e, conseqüentemente, no contexto de SoS. Essa abordagem colaborativa permitirá uma avaliação mais ampla e confiável dos cenários abstratos definidos.

¹ Método que permite a validação de hipóteses em cenários ainda não maduros, por meio da utilização do julgamento de especialistas.

Referências

- AALST, W. Business Process Management: a Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, v. 2013, p. 1–37, 2013. Citado na página 31.
- ABPMP, A. O. B. P. M. P. I. *Padrões ABPMP para Business Process Management (BPM)*. 2021. Último acesso em 14 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://www.abpmp-br.org/sobre-a-abpmp/>>. Citado na página 30.
- AHMED, N.; MATULEVIČIUS, R. Presentation and validation of method for security requirements elicitation from business processes. In: SPRINGER. *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. Cham, 2014. p. 20–35. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 30.
- ALEXANDER, R.; HALL-MAY, M.; KELLY, T. Characterisation of systems of systems failures. In: CITESEER. *22nd International System Safety Conference*. York, England, 2004. p. 1–10. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 63.
- ANDREWS, Z. et al. Fault modelling for systems of systems. In: IEEE. *IEEE Eleventh International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS)*. [S.l.], 2013. p. 1–8. Citado 13 vezes nas páginas 14, 19, 26, 28, 33, 35, 50, 55, 57, 58, 63, 83 e 147.
- ASUNCION, C. H.; SINDEREN, M. van. Towards pragmatic interoperability in the new enterprise - survey of approaches. In: SINDEREN, M. van; JOHNSON, P. (Ed.). *IWEI*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 132–145. Citado na página 40.
- BALDWIN, W.; SAUSER, B. Modeling the characteristics of system of systems. In: *IEEE International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*. [S.l.]: IEEE, 2009. p. 1–6. Citado na página 24.
- BANDARA, W.; GABLE, G. G.; ROSEMANN, M. Factors and measures of business process modelling: model building through a multiple case study. *European Journal of Information Systems*, Taylor & Francis, v. 14, n. 4, p. 347–360, 2005. Citado na página 31.
- BASIL, V. R. *Software modeling and measurement: the Goal/Question/Metric paradigm*. [S.l.], 1992. 24 p. Citado na página 69.
- BATISTA, T. Challenges for sos architecture description. In: *Proceedings of the First International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems*. [S.l.]: Association for Computing Machinery, 2013. (SESoS '13), p. 35–37. Citado 4 vezes nas páginas 13, 25, 55 e 63.
- 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. Citado na página 23.
- BERLIN, B. O. *BPMN 2.0 - Notação e Modelo de Processo de Negócio*. 2022. http://www.bpmb.de/images/BPMN2_0_Poster_PT.pdf. Traduzido por

- Lucinéia Heloisa Thom, Cirano Iochpe. Último acesso em 18 de abril de 2022. Citado na página [36](#).
- BIANCHI, T.; SANTOS, D. S.; FELIZARDO, K. R. Quality attributes of systems-of-systems: A systematic literature review. In: *IEEE/ACM 3rd International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems*. [S.l.]: IEEE, 2015. p. 23–30. Citado 3 vezes nas páginas [14](#), [28](#) e [63](#).
- BOSSUYT, D. L. V.; O'HALLORAN, B. M.; ARLITT, R. M. Irrational system behavior in a System of Systems. In: *13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*. [S.l.]: IEEE, 2018. p. 343–349. Citado 3 vezes nas páginas [14](#), [50](#) e [63](#).
- CADAVID, H.; ANDRIKOPOULOS, V.; AVGERIOU, P. Architecting systems of systems: A tertiary study. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 118, p. 1–18, 2020. Citado 4 vezes nas páginas [14](#), [28](#), [51](#) e [63](#).
- CAGNIN, M. I.; COSTA, M. G. N.; MOLINA, S. A. *PoP Modeler versão 3.0*. 2024. Processo n. BR512024000971-0. Citado 2 vezes nas páginas [21](#) e [123](#).
- 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 9 vezes nas páginas [13](#), [15](#), [16](#), [19](#), [37](#), [38](#), [39](#), [40](#) e [41](#).
- 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 3 vezes nas páginas [41](#), [42](#) e [85](#).
- 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 2 vezes nas páginas [85](#) e [87](#).
- 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*. [S.l.], 2009. p. 1–9. Citado na página [15](#).
- CAVALCANTE, E. et al. Thinking smart cities as systems-of-systems: A perspective study. In: *Proceedings of the 2nd International Workshop on Smart*. [S.l.]: Association for Computing Machinery, 2016. (SmartCities '16), p. 1–4. Citado 2 vezes nas páginas [25](#) e [26](#).
- CHAVES, P. S. D. A importância do bpm e sua integração com a área da tecnologia da informação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018. Citado na página [15](#).
- CHINOSI, M.; TROMBETTA, A. Bpmn: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, v. 34, n. 1, p. 123–134, 2012. Citado na página [31](#).
- COSTA, M. G. N. *Abordagem baseada em Cenários para Extrair Requisitos de Interoperabilidade de Sistemas-de-Sistemas a partir de Processos-de-Processos de Negócio*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, Brasil, 2024. Citado na página [69](#).

- 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 (ICEIS)*. [S.l.]: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, Lda, 2015. v. 2, p. 338–345. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 55.
- DAHMANN. Systems of systems and net-centric enterprise systems. *7th Annual Conference on Systems Engineering Research*, p. 1–10, 2009. Citado na página 24.
- DALKEY, N. C.; BROWN, B. B.; COCHRAN, S. *The Delphi method: An experimental study of group opinion*. [S.l.], 1969. v. 3, 87 p. Citado na página 125.
- DAMM, W.; VINCENNELLI, A. S. A conceptual model of system of systems. In: *Proceedings of the Second International Workshop on the Swarm at the Edge of the Cloud*. [S.l.]: Association for Computing Machinery, 2015. p. 19–27. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 50.
- DEMIRORS; GENCEL; TARHAN. Utilizing business process models for requirements elicitation. In: *29th Euromicro Conference*. [S.l.]: IEEE, 2003. p. 409–412. Citado na página 15.
- DERSIN, P. *Systems of Systems*. 2014. IEEE-Reliability Society. Technical Committee on “Systems of Systems”, <https://rs.ieee.org/technical-activities/technical-committees/systems-of-systems.html> (Access in 28/02/2021). Citado na página 13.
- DESPOTOU, G.; KELLY, T. A deviation based systems of systems safety view for modelling architectural frameworks. *IET Journals*, IET, v. 1, p. 1–6, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 14, 26 e 50.
- DICK ELIZABETH HULL, K. J. J. *Requirements engineering*. [S.l.]: Springer Cham, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 29.
- DUMAS, M. et al. *Fundamentals of business process management*. [S.l.]: Springer, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 30, 34 e 35.
- DUMAS, M. et al. *Fundamentals of business process management*. [S.l.]: Springer, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.
- FERNANDES, J. et al. Pis: Interoperability and decision-making process—a review. *The Evolution of Pervasive Information Systems*, Springer, p. 157–190, 2022. Citado na página 27.
- FERNANDES, J. C.; GRACIANO-NETO, V. V.; SANTOS, R. P. d. Interoperability in systems-of-information systems: A systematic mapping study. In: *Proceedings of the 17th Brazilian Symposium on Software Quality*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 131–140. Citado na página 29.
- 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)*. [S.l.]: IEEE, 2021. p. 54–61. Citado 7 vezes nas páginas 13, 14, 25, 26, 28, 57 e 63.

FERREIRA, F. H. C. et al. A framework for the design of fault-tolerant systems-of-systems. *Journal of Systems and Software*, v. 211, p. 112010, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 28.

FERREIRA, F. H. C.; NAKAGAWA, E. Y.; SANTOS, R. P. dos. Towards an understanding of reliability of software-intensive systems-of-systems. *Information and Software Technology*, v. 158, p. 1–17, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

FRANCO, I. C. T.; MATTIA, W. G. de. Apoio computacional para modelagem de processos-de-processos de negócio. In: *Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Trabalho de Conclusão de Curso sob a orientação da Profa. Maria Istela Cagnin*. [S.l.: s.n.], 2022. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 47.

FRANCO, I. C. T.; MATTIA, W. G. de. *Módulo de Modelagem de Processos-de-Processos de Negócio da ferramenta PoP Modeler*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 46.

GARRO, A. et al. A model-driven method to enable the distributed simulation of bpmn models. In: *2018 IEEE 27th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*. [S.l.]: IEEE, 2018. p. 121–126. Citado na página 30.

GARRO, A.; TUNDIS, A. On the reliability analysis of systems and sos: The ramsas method and related extensions. *IEEE Systems Journal*, IEEE, v. 9, n. 1, p. 232–241, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 14, 26, 50, 57 e 63.

GHIDINI, C. et al. Semantics-based aspect-oriented management of exceptional flows in business processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, IEEE, v. 42, n. 1, p. 25–37, 2011. Citado na página 40.

GONÇALVES, M. B. et al. Towards a conceptual model for software-intensive system-of-systems. In: *2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1605–1610. Citado na página 24.

GRACIANO-NETO, V. V. et al. On the interplay of business process modeling and missions in systems-of-information systems. In: *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.]: IEEE, 2017. p. 72–73. Citado na página 33.

GRACIANO-NETO, V. V. et al. A study on goals specification for systems-of-information systems: Design principles and a conceptual model. In: *Proceedings of the XIV Brazilian Symposium on Information Systems*. [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 24.

GRACIANO-NETO, V. V. et al. Expanding frontiers: Settling an understanding of systems-of-information systems. *arXiv preprint arXiv:2103.14100*, p. 1–6, 2021. Citado na página 24.

GRACIANO-NETO, V. V.; SANTOS, R.; ARAUJO, R. Sistemas de sistemas de informação e ecossistemas de software: Conceitos e aplicações. *Tópicos em Sistemas de Informação: Minicursos SBSI 2017*, p. 22–41, 2017. Citado na página 25.

- GRÖNER, G. et al. Modeling and validation of business process families. *Information Systems*, v. 38, n. 5, p. 709–726, 2013. Citado na página 39.
- GUESSI, M.; GRACIANO-NETO, V. V.; NAKAGAWA, E. Y. Architectural description of Systems-of-Information Systems. *Tópicos em Sistemas de Informação: Minicursos SBSI*, v. 1, p. 29–52, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 56.
- HACHEM, J. E. et al. Model driven software security architecture of Systems-of-Systems. In: *23rd Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*. [S.l.]: IEEE, 2016. p. 89–96. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 50.
- HEVNER, A. R. A three cycle view of design science research. *Scandinavian Journal of Information Systems*, v. 19, n. 2, p. 4, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 16, 20 e 21.
- HEVNER, A. R.; CHATTERJEE, S. Design research in information systems. In: . Boston, MA: Springer Science Business Media, 2010. v. 22, cap. Chapter 2 - Design Science Research in Information Systems, p. 9–22. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 21.
- HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. *MIS quarterly*, JSTOR, p. 75–105, 2004. Citado na página 16.
- HYUN, S. et al. Pattern-based analysis of interaction failures in Systems-of-Systems: a case study on platooning. In: *27th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*. [S.l.]: IEEE, 2020. p. 1–10. Citado 5 vezes nas páginas 14, 26, 50, 57 e 63.
- IEEE. Ieee recommended practice for software requirements specifications. *IEEE Std 830-1998*, p. 1–40, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 20.
- IMAMURA, M. et al. System-of-systems reliability: An exploratory study in a brazilian public organization. In: *XVII Brazilian Symposium on Information Systems*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–8. Citado 6 vezes nas páginas 14, 28, 50, 51, 57 e 63.
- INDULSKA, M. et al. *Business Process Modeling: Perceived Benefits*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. 458-471 p. Citado na página 31.
- INDULSKA, M. et al. Business process modeling: Current issues and future challenges. In: SPRINGER. *International conference on advanced information systems engineering*. [S.l.], 2009. p. 501–514. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 31.
- INGRAM, C. et al. Sysml fault modelling in a traffic management system of systems. In: IEEE. *9th International Conference on System of Systems Engineering (SOSE)*. [S.l.], 2014. p. 124–129. Citado 4 vezes nas páginas 14, 50, 57 e 63.
- ISO/IEC 25010. *ISO/IEC 25010:2011 - Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models*. 2011. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 140.
- ISO/IEC 29148. *ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering*. 2018. 1-104 p. Citado 4 vezes nas páginas 20, 87, 114 e 122.
- JONCHEERE, N. et al. Improving workflow modularity using a concern-specific layer on top of unify. *Science of Computer Programming*, Elsevier, v. 87, p. 62–94, 2014. Citado na página 31.

- KASUNIC, M. *Designing an effective survey*. Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh PA Software Engineering Inst, 2005. Citado na página 69.
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 139 e 142.
- KUMAR, V.; SHARMA, P. *An insight into mergers and acquisitions: A growth perspective*. [S.l.]: Springer Nature Singapore, 2019. XVII - 220 p. Citado na página 13.
- LERNER, B. S. et al. Exception handling patterns for process modeling. *IEEE Transactions on Software Engineering*, IEEE, v. 36, n. 2, p. 162–183, 2010. Citado 9 vezes nas páginas 15, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 40.
- LEWIS, G. et al. Engineering systems of systems. In: *2008 2nd Annual IEEE Systems Conference*. [S.l.]: IEEE, 2008. p. 1–6. Citado na página 28.
- LEWIS, G. A. et al. Requirements engineering for systems of systems. In: *3rd annual IEEE systems conference*. [S.l.]: IEEE, 2009. p. 247–252. Citado 4 vezes nas páginas 14, 28, 29 e 30.
- MAIER, M. Architecting Principles for Systems-of-Systems. *Systems Engineering*, v. 1, n. 4, p. 267–284, 1998. Citado 5 vezes nas páginas 13, 23, 24, 28 e 55.
- 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 2 vezes nas páginas 20 e 46.
- MOHAMMADI, N. G.; HEISEL, M. Patterns for identification of trust concerns and specification of trustworthiness requirements. In: *Proceedings of the 21st European Conference on Pattern Languages of Programs*. [S.l.]: Association for Computing Machinery, 2016. p. 1–20. Citado na página 15.
- 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 4 vezes nas páginas 21, 63, 123 e 125.
- MOLINA, S.; PAIVA, D.; CAGNIN, M. I. Tratamento de requisitos de confiabilidade de sistemas-de-sistemas: Um mapeamento sistemático da literatura. In: *XXV Congresso Ibero-Americano em Engenharia de Software*. [S.l.]: SBC, 2022. p. 315–329. Citado 5 vezes nas páginas 21, 34, 49, 58 e 123.
- MORGAN, D. L.; KRUEGER, R. A. *The focus group guidebook*. [S.l.]: Sage, 1998. Nenhuma citação no texto.
- NCUBE, C.; LIM, S. L. On systems of systems engineering: A requirements engineering perspective and research agenda. In: *26th International Requirements Engineering Conference (RE)*. [S.l.]: IEEE, 2018. p. 112–123. Citado 5 vezes nas páginas 14, 29, 51, 55 e 63.

NIELSEN, C. B. et al. Systems of systems engineering: Basic concepts, model-based techniques, and research directions. *ACM Computing Surveys*, v. 48, n. 2, p. 1–41, 2015. Citado na página 24.

NOGUEIRA, F. A.; OLIVEIRA, H. C. D. Application of heuristics in business process models to support software requirements specification. In: INSTICC. *19th International Conference on Enterprise Information Systems*. [S.l.]: SciTePress, 2017. v. 2, p. 40–51. Citado na página 15.

Object Management Group. *Business Process Model and Notation (BPMN)*. 2013. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/>. Access in: 28/02/2021. Citado 7 vezes nas páginas 16, 32, 46, 57, 79, 80 e 155.

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 15.

OLIVERO, M. A. et al. A delphi study to recognize and assess systems of systems vulnerabilities. *Information and Software Technology*, v. 146, p. 106874, 2022. Citado na página 26.

OMG. *Business Process Model and Notation (BPMN)*. 2011. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/>. Accessed August 04, 2020. Citado na página 36.

OMG, O. M. G. *Unified Modeling Language (UML)*. 2017. =<https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/About-UML/>. Último acesso em 19 de abril de 2022. Citado na página 36.

PRASAD, G.; MILKS, W. A. Autonomous verification architectures for complex systems. In: IIIS - INTERNATIONAL INSTITUTE OF INFORMATICS AND SYSTEMICS (INDIA). *International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation (IMETI)*. [S.l.], 2008. v. 2, p. 159–163. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 50.

PRZYBYLEK, A. A business-oriented approach to requirements elicitation. In: IEEE. *9th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE)*. [S.l.], 2014. p. 1–12. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 30.

PÉREZ. Large-scale smart grids as system of systems. In: *Proceedings of the First International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems*. [S.l.]: Association for Computing Machinery, 2013. p. 38–42. Citado na página 24.

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 92.

RAMBIKUR, A.; GIAMMARCO, K.; O'HALLORAN, B. Systems architecture in failure analysis (applications of architecture modeling to system failure analysis). In: *12th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*. [S.l.]: IEEE, 2017. p. 1–6. Citado 4 vezes nas páginas 14, 50, 57 e 63.

- ROISING, M. von et al. *Business Process Model and Notation-BPMN*. 2015. 429-453 p. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.
- ROWELL, J. Do organisations have a mission for mapping processes? *Business Process Management Journal*, Emerald Publishing Limited, 2018. Citado na página 31.
- SANTOS, J. M.; GRACIANO-NETO, V. V.; NAKAGAWA, E. Y. Business process modeling in systems of systems. In: *Anais do II Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software*. [S.l.]: SBC, 2020. p. 26–35. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 33.
- SILVA, E.; BATISTA, T.; OQUENDO, F. A mission-oriented approach for designing System-of-Systems. In: *10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*. [S.l.]: IEEE, 2015. p. 346–351. Citado 2 vezes nas páginas 52 e 54.
- 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 2 vezes nas páginas 57 e 150.
- TANENBAUM, A. S. *Distributed systems principles and paradigms*. [S.l.: s.n.], 2007. Citado na página 46.
- TIANJIAN, W.; XIN, P. Research on the task process reliability modeling of SoS. In: *26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*. [S.l.]: IEEE, 2014. p. 1–5. Citado 5 vezes nas páginas 14, 50, 53, 57 e 63.
- TURKMAN, S.; TAWHEEL, A. Business process model driven approach for automatic use case model generation. In: SPRINGER. *International Symposium on Business Modeling and Software Design*. [S.l.], 2020. p. 123–136. Citado na página 15.
- UMASSAMHERST, L. for Advanced Software Engineering Research (LASER) at. *Little-JIL 1.5 Language Report*. 2006. =<http://laser.cs.umass.edu/tools/littlejil.shtml>. Último acesso em 19 de abril de 2022. Citado na página 36.
- VARA, J. L. d. l. et al. A requirements engineering approach for data modelling of process-aware information systems. In: SPRINGER. *International Conference on Business Information Systems*. [S.l.]: Springer, 2009. p. 133–144. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 30.
- VARA, J. L. de la; SÁNCHEZ, J.; PASTOR, Ó. Business process modelling and purpose analysis for requirements analysis of information systems. In: *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. [S.l.]: Springer, 2008. p. 213–227. Citado na página 15.
- WESKE, M. *Business Process Management—Concepts, Languages, Architectures*. 3rd edition. ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 155.
- WHITE, S. A.; DEREK, M. *BPMN Modeling and Reference Guide: Understanding and Using BPMN*. [S.l.]: Future Strategies, 2008. Citado na página 33.
- WHOLIN, C. et al. *Experimentation in software engineering: an introduction*. [S.l.]: Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2000. Citado na página 92.

WIERINGA, R. Design science methodology for information systems and software engineering. In: *Springer Berlin Heidelberg*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. p. XV–332. Citado na página 16.

Apêndices

APÊNDICE A – Planejamento e Condução do Mapeamento Sistemático

Este apêndice apresenta como foi realizado o mapeamento sistemático da literatura (MSL) no âmbito deste trabalho, que seguiu etapas do processo de [Kitchenham \(2004\)](#). A Seção [Planejamento](#) apresenta em detalhes a etapa do planejamento com a definição do objetivo, questão de pesquisa, critérios de inclusão e exclusão, concepção da string de busca e as ameaças à validade. A Seção [Condução](#) discorre sobre a etapa da condução do mapeamento sistemático, apresentando o processo de busca e a seleção dos trabalhos relacionados. Os resultados obtidos estão discutidos no [Capítulo 3](#).

Para auxiliar principalmente nas etapas de planejamento e condução, a ferramenta Parsifal¹ foi adotada para filtragem e seleção dos estudos primários conforme os critérios de inclusão e de exclusão definidos no planejamento. Além disso, a ferramenta também permite a criação e o preenchimento do formulário de extração de dados e, posteriormente, a extração dos dados que foram registrados. A ferramenta MS Excel² também foi adotada para tabular os dados dos estudos primários e confeccionar os gráficos.

A.1 Planejamento

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

Para isso, foi elaborada a seguinte questão de pesquisa principal (**QP**): *Como os requisitos de confiabilidade de SoS estão sendo elicitados, especificados e validados?* Para facilitar a extração e síntese dos resultados com o intuito de responder a questão de pesquisa principal, foram estabelecidas as seguintes subquestões de pesquisa:

¹ <https://parsif.al/>

² <https://www.microsoft.com/>

- **Sub-QP1.1:** *Quais tipos de requisitos (subcaracterísticas) de confiabilidade, de acordo com a norma (ISO/IEC 25010, 2011), estão sendo tratados pelos estudos primários no contexto de SoS?* O propósito dessa questão é levantar quais tipos de requisitos de confiabilidade estão tendo mais enfoque nos trabalhos encontrados na literatura;
- **Sub-QP1.2:** *Em qual fase do ciclo de vida de SoS os requisitos de confiabilidade estão sendo extraídos e especificados?* O propósito dessa questão é verificar se os requisitos de confiabilidade do SoS estão sendo considerados apenas em fases posteriores no ciclo de vida do SoS, por exemplo, na fase de *design* arquitetural;
- **Sub-QP1.3:** *Quais mecanismos (como, método, técnica, abordagem e framework) estão sendo utilizados para extrair requisitos de confiabilidade de SoS e quais fontes de informação estão sendo adotadas para isso?* O propósito dessa questão é identificar se os mecanismos utilizados para elicitare requisitos de confiabilidade do SoS preocupam-se com o alinhamento desses requisitos aos objetivos do negócio, que é automatizado pelo SoS;
- **Sub-QP1.4:** *Quais técnicas estão sendo utilizadas para especificar ou representar os requisitos de confiabilidade de SoS?* O propósito dessa questão é identificar a forma que esses requisitos são comumente especificados. Em particular, no caso de representação visual, quais notações, modelos ou diagramas estão sendo utilizados;
- **Sub-QP1.5:** *Quais critérios são utilizados para validar os requisitos de confiabilidade de SoS?* O propósito desta questão é levantar como está sendo realizada a validação dos requisitos de confiabilidade e se há mecanismos específicos que estão sendo utilizados para realizar essa validação; e
- **Sub-QP1.6:** *Como os mecanismos de elicitacão de requisitos de confiabilidade têm sido avaliados?* O propósito desta questão de pesquisa é levantar como os estudos primários estão sendo avaliados.

A estratégia de busca envolveu buscas eletrônicas em três bibliotecas digitais (*Scopus*³, *ACM Digital Library*⁴, *IEEE Xplore*⁵) frequentemente adotadas em mapeamentos e revisões sistemáticas da literatura na área de Engenharia de Software. Como a *Scopus* indexa artigos de diferentes bibliotecas digitais, ela foi utilizada para realizar a calibragem da string de busca padrão, tomando como base cinco artigos de controle destacados em negrito na Tabela 2. Esses artigos foram identificados a partir de um levantamento realizado antes da execução da RS.

³ <https://www.scopus.com/>

⁴ <https://www.acm.org/>

⁵ <https://ieeexplore.ieee.org/>

Para a elaboração da string de busca padrão, foram selecionadas três palavras-chaves relacionadas aos tópicos de interesse da RS (*Systems-of-Systems*, *Reliability* e *Discover*). Com o intuito de obter uma string de busca mais abrangente, foram identificados sinônimos para cada palavra-chave. Esses sinônimos foram encontrados em artigos publicados em conferências e periódicos da área de pesquisa. Após vários refinamentos durante a calibragem da string de busca preliminar, com o apoio dos artigos de controle, obteve-se a seguinte string de busca padrão:

(“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** (*reliability OR fault OR failure OR recoverability*) **AND** (*discover OR discovery OR elicitation OR obtaining OR gaining OR acquisition OR capture OR capturing OR extracting OR specification OR representation OR modeling*)

Para apoiar a seleção dos estudos primários foram estabelecidos critérios de inclusão (CI) e de exclusão (CE) exibidos, respectivamente, nas Tabelas 36 e 37. Com base nesses critérios, estudos devem ser incluídos se atenderem pelo menos um dos CI e excluídos se atenderem ao menos um dos CE.

Tabela 36 – Critérios de inclusão

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

Tabela 37 – 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 uma linguagem diferente do inglês
CE4	O estudo é similar a outro que reporta os mesmos resultados, no qual o mais recente é base para a 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, foi definido um formulário de extração que contém campos referentes aos metadados dos estudos e outros campos relevantes para ajudar a res-

ponder as questões de pesquisa, por exemplo: identificador do artigo selecionado, ano de publicação, tipo de meio de publicação (workshop, conferência ou periódico), tipo dos autores (academia, indústria ou ambos), resumo, pontos fortes, pontos fracos, domínio de aplicação, subcaracterísticas de confiabilidade, fase do ciclo de vida do SoS que ocorre a extração, fase do ciclo de vida do SoS que ocorre a especificação, mecanismos utilizados para a extração, fontes de informação utilizadas para apoiar a extração, técnicas utilizadas para a especificação, linguagem/notação adotada pela técnica, desafios/problemas de confiabilidade tratados, solução, técnica utilizada para validar os requisitos, critérios utilizados para validar os requisitos e método de avaliação do estudo.

A.1.1 Ameaças à Validade

As principais ameaças à validade estão relacionadas a: (i) *possível perda de estudos relevantes*: para contornar essa ameaça, foram conduzidas buscas em bibliotecas digitais variadas e realizados diversos refinamentos na string de busca utilizando termos encontrados nos artigos de controle. O termo “requisito” não foi incluído na string para não correr o risco de limitar o escopo da busca. (ii) *parcialidade na seleção dos estudos*: para mitigar essa ameaça o processo de MSL utilizado (KITCHENHAM, 2004) foi seguido rigorosamente e todos os autores participaram das duas etapas de seleção; todas as divergências foram discutidas e resolvidas por todos os autores. (iii) *falta de padronização na extração dos dados e de confiabilidade dos resultados*: para tratar essa ameaça um formulário de extração foi criado na ferramenta Parsifal e validado por todos os autores. Os dados dos estudos primários foram extraídos pelo primeiro autor e validados e refinados pelos demais. Todo resultado obtido foi discutido entre os autores para melhor síntese das respostas das questões de pesquisa.

A.2 Condução

A etapa de condução consistiu inicialmente na realização de buscas no período de 27 de setembro de 2021 a 17 de outubro de 2021, utilizando a string calibrada. Como os motores das bibliotecas digitais selecionadas possuem sintaxe distintas, a string de busca padrão foi adaptada para cada uma delas, conforme apresentado no Apêndice B. As buscas (Passo 1) retornaram um total de 603 artigos, conforme ilustrado na Figura 57.

Em seguida, 107 estudos duplicados foram identificados e removidos com o apoio da Parsifal (**Passo 2**), obtendo-se 496 estudos para serem submetidos à primeira seleção (**Passo 3**). A primeira seleção teve como objetivo selecionar os estudos por meio de uma rápida avaliação, considerando apenas o título e o resumo dos estudos com base nos critérios de inclusão e de exclusão (Tabelas 36 e 37).

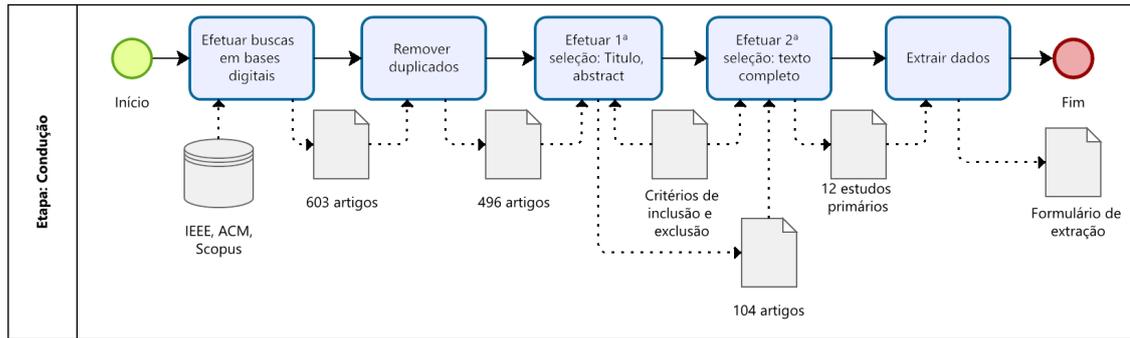


Figura 57 – Condução do Mapeamento Sistemático da Literatura

No Passo 3, 104 artigos foram selecionados e submetidos à segunda seleção (**Passo 4**), em que foi realizada a leitura completa dos estudos, aplicando os critérios mencionados previamente. Nessa última seleção, doze estudos foram selecionados como estudos primários (Tabela 2 do Capítulo 3), sendo que cinco deles referem-se aos artigos de controle (destacados em negrito). Por último, os dados dos estudos primários foram extraídos (**Passo 5**) de acordo com o formulário de extração definido previamente. Esses dados forneceram informações relevantes para responder as questões de pesquisa.

APÊNDICE B – Strings de Busca Adaptadas

Neste apêndice é apresentada a string de busca padrão adaptada para cada base de dados digital utilizada no mapeamento sistemático conduzido no escopo deste trabalho de mestrado, sendo elas: ACM Digital (Tabela 38), IEEE Xplore (Tabela 39) e Scopus (Tabela 40).

Tabela 38 – String padrão adaptada para *ACM Digital Library*

ACM Digital Library
[[Abstract: "systems of systems"] OR [Abstract: "sos"] OR [Abstract: "system of system"] OR [Abstract: "systems of system"] OR [Abstract: "system of systems"] OR [Abstract: "systems-of-systems"] OR [Abstract: "system-of-system"] OR [Abstract: "systems-of-system"] OR [Abstract: "system-of-systems"] OR [Abstract: "systems of information systems"] OR [Abstract: "sois"] OR [Abstract: "systems of information system"] OR [Abstract: "systems-of-information systems"] OR [Abstract: "systems-of-information system"]] AND [[Abstract: reliability] OR [Abstract: fault] OR [Abstract: failure] OR [Abstract: recoverability]] 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: extracting] OR [Abstract: specification] OR [Abstract: representation] OR [Abstract: modeling]]

Tabela 39 – String padrão adaptada para IEEE Xplore

IEEE Xplore
("Abstract": "systems of systems" OR "Abstract": "SoS" OR "Abstract": "system of system" OR "Abstract": "systems of system" OR "Abstract": "system of systems" OR "Abstract": "systems-of-systems" OR "Abstract": "system-of-system" OR "Abstract": "systems-of-system" OR "Abstract": "system-of-systems" OR "Abstract": "systems of information systems" OR "Abstract": "SoIS" OR "Abstract": "systems of information system" OR "Abstract": "systems-of-information systems" OR "Abstract": "systems-of-information system") AND ("Abstract": reliability OR "Abstract": fault OR "Abstract": failure OR "Abstract": recoverability) 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": extracting OR "Abstract": specification OR "Abstract": representation OR "Abstract": modeling)

Tabela 40 – String padrão adaptada para Scopus

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 (reliability OR fault OR failure OR recoverability) AND (discover OR discovery OR elicitation OR obtaining OR gaining OR acquisition OR capture OR capturing OR extracting OR specification OR representation OR modeling))

APÊNDICE C – Cenários Concretos

Este apêndice apresenta dois PoP reais de duas organizações distintas e um PoP identificado na literatura (ANDREWS et al., 2013). O PoP Resgate, descrito e apresentado na Seção C.1, foi obtido na literatura (ANDREWS et al., 2013), enquanto os outros dois PoP (ou seja, PoP Repositório Institucional da UFMS e PoP Bem-estar Animal) foram levantados a partir de reuniões com analistas de sistemas da Agetic/UFMS¹ e com o Diretor do Setor de Tecnologia da Informação da Embrapa Gado de Corte². Todos os PoP concretos foram modelados antes do desenvolvimento dos cenários abstratos e auxiliaram na definição dos cenários abstratos. Por conta deste motivo, é possível observar uma diferença dos elementos BPMN utilizados na modelagem das falhas e dos respectivos tratamentos de exceções no envio e recebimento de retorno de mensagens em relação aos elementos utilizados na representação dos cenários abstratos. Isso porque durante a elaboração dos cenários abstratos foi realizada uma análise e seleção dos elementos comumente utilizados para representar falhas e tratamentos de exceções.

C.1 Cenário concreto: PoP Resgate

Uma das missões principais do PoP Resgate é despachar a ERU e um veículo com os equipamentos necessários para o resgate no local correto, tudo isso automatizado por um SoS (ANDREWS et al., 2013). Os participantes do PoP Resgate incluem o chamador, o *Call Center*, a equipe da Unidade de Resposta a Emergências (ERU), o sistema telefônico e o sistema de rádio.

O PoP tem início quando o chamador (paciente) entra em contato com o *Call Center* de Emergência para solicitar um resgate. O *Call Center* solicita ao chamador que forneça os dados essenciais para abrir o pedido, como nome, endereço e telefone. Após a obtenção dessas informações, o *Call Center* registra o pedido de resgate e confirma ao chamador que o registro foi concluído com êxito. Em seguida, o *Call Center* procura por uma ERU disponível para atendimento. A equipe da ERU verifica a sua disponibilidade para alocar e atender à emergência. Se todos os membros da equipe estiverem disponíveis, a ERU informa ao *Call Center* sobre a disponibilidade.

No entanto, se a equipe da ERU não estiver disponível, ela aguarda por 10 minutos e tenta novamente até três vezes. Se, após essas tentativas, a equipe ainda não estiver

¹ <https://agetic.ufms.br/>

² <https://www.embrapa.br/gado-de-corte>

disponível, ocorre uma falha na disponibilidade e a equipe da ERU informa ao *Call Center* sobre a falta de recursos.

Após receber o retorno da equipe da ERU, o *Call Center* verifica a disponibilidade da equipe. Se estiver disponível, o pedido de resgate é imediatamente enviado. Caso contrário, o *Call Center* tenta localizá-la novamente após um intervalo de três minutos. Esse processo de tentativa e aguardo pode ser repetido até que a equipe seja localizada. Em caso de falha na comunicação ao enviar o pedido de resgate, o operador do *Call Center* utiliza um celular móvel para efetuar o envio.

Quando a equipe da ERU recebe o pedido de resgate, ela confirma o recebimento. Se o pedido for confirmado, o *Call Center* informa ao chamador sobre o status do resgate e o processo é finalizado. Caso contrário, o *Call Center* aguarda por três minutos a cada tentativa de um total de três para receber a confirmação do pedido. Se exceder as três tentativas, ocorre uma falha na transmissão do pedido e o *Call Center* tenta novamente mais tarde para obter a confirmação.

Após a equipe da ERU receber e confirmar o pedido, ela inicia a busca por um veículo disponível. Se o veículo não estiver disponível, a equipe da ERU aguarda por 15 minutos, repetindo este processo por até duas vezes. Caso o veículo ainda não esteja disponível, ocorre uma falha na localização do veículo e o pedido é cancelado. Se o veículo estiver disponível, a ERU envia o veículo até o local do chamador. No entanto, durante o trajeto ou ao chegar ao destino, o veículo pode sofrer uma quebra. Nesse caso, a ERU verifica se o veículo já está em processo de resgate. Se não estiver, um novo veículo é enviado para recuperar a equipe e seguir para o endereço do chamador. Se sim, um novo veículo é enviado para resgatar tanto o paciente quanto a equipe, e em seguida, seguir para o endereço do chamador. Ao mesmo tempo, o motorista do veículo avariado aguarda a reparação do veículo por 15 minutos. Se o veículo for reparado nesse período, o motorista o conduz de volta à Unidade da ERU. Caso contrário, o motorista aguarda por mais 30 minutos. Se o veículo não for reparado nesse tempo, ocorre uma falha devido ao veículo estar inoperante.

A modelagem do PoP de Resgate incorpora a consideração de possíveis falhas humanas, como erros de digitação no endereço. Para mitigar essa eventualidade, a equipe da ERU verifica o endereço fornecido pelo chamador com o apoio do *Call Center* e espera por uma confirmação num intervalo de dois minutos. O *Call Center* então entra em contato com o chamador para validar os dados do endereço. Após obter a confirmação do chamador, o *Call Center* informa à ERU. A equipe da ERU verifica se o endereço foi confirmado corretamente. Caso positivo, o resgate é concluído e o processo é encerrado. Caso contrário, a equipe aguarda por três períodos de 15 minutos para tentar novamente confirmar o endereço. Se as três tentativas forem infrutíferas, ocorre uma falha no envio do resgate devido à ausência de confirmação do endereço e o processo é cancelado.

Durante a modelagem do PoP de Resgate, uma das principais dificuldades foi a obtenção de informações detalhadas para uma representação do cenário em profundidade. Além disso, foi desafiador identificar as atividades adequadas para o envio de mensagens e representar o tratamento de exceções de forma precisa. A Figura 58 ilustra o Modelo Detalhado da Visão “Atendimento eficiente de resgate” do PoP de Resgate, enquanto a Figura 59 apresenta o Modelo Geral desse PoP.

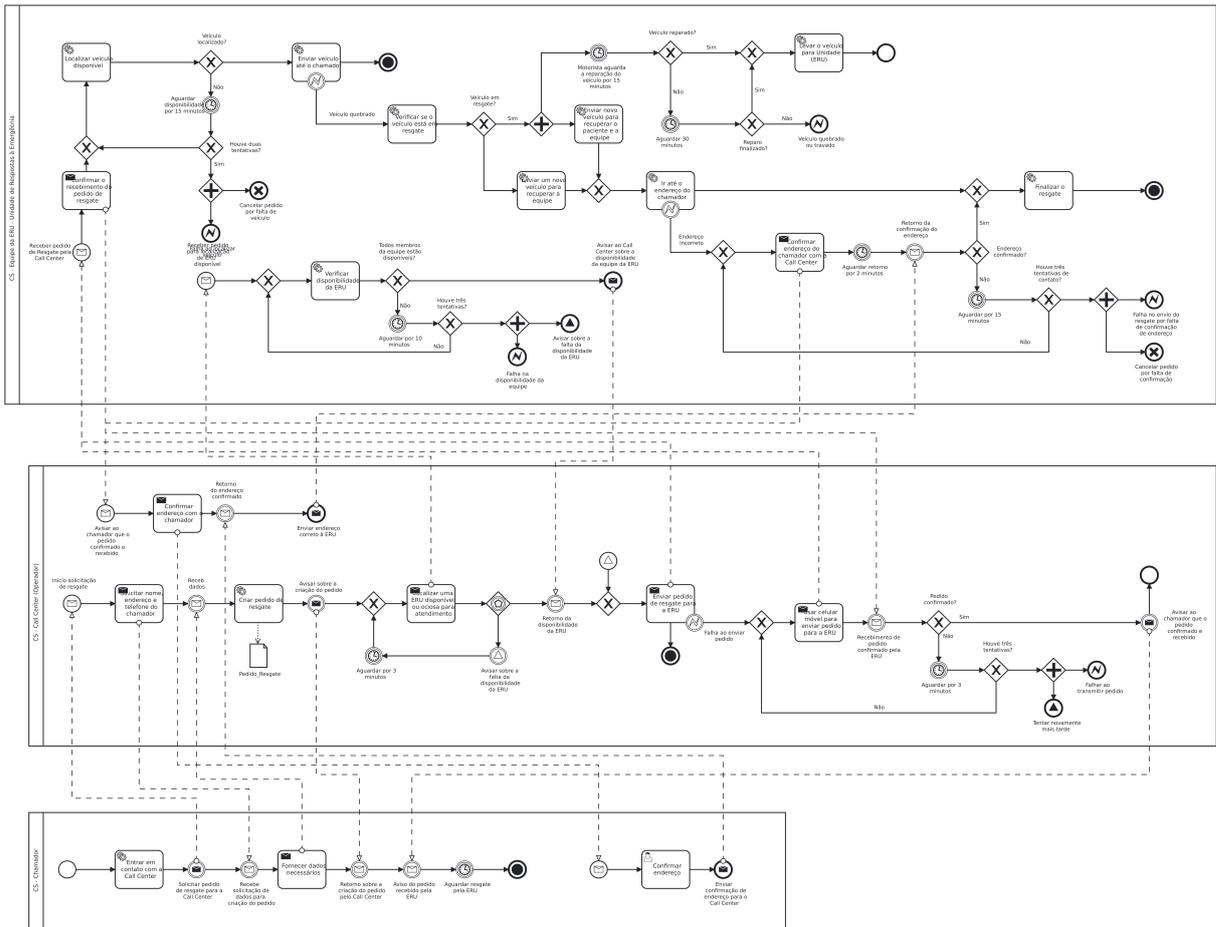


Figura 58 – Modelo Detalhado de Missão “Atendimento eficiente de Resgate” do PoP Resgate

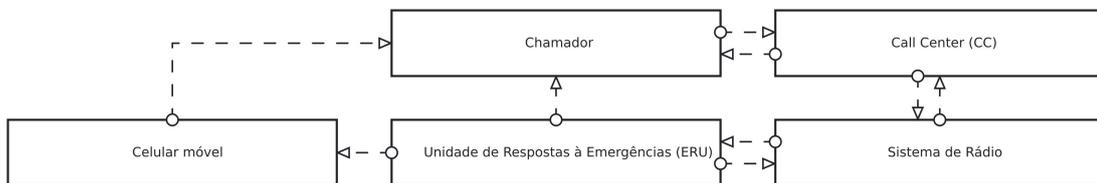


Figura 59 – Modelo de Visão Geral do PoP Resgate

C.2 Cenário concreto: PoP Educacional-UFMS

Uma das missões deste PoP é criar automaticamente no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) as turmas com seus respectivos alunos matriculados nos sistemas

SISCAD (Sistema Acadêmico) e SIGPOS (Sistema de Gestão de Pós-Graduação). Os processos constituintes envolvidos nesta missão incluem o AVA, SISCAD, SIGPOS, Keycloak³ e o Passaporte da UFMS. A Figura 60 apresenta o Modelo Detalhado de Missão preliminar “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no AVA” do PoP Educacional-UFMS e a versão refinada é apresentada na Figura 41 do Capítulo 5 da Seção 5.3.

Para alcançar essa missão, os alunos de graduação solicitam semestralmente suas matrículas em turmas de disciplinas por meio do portal de graduação. Após a solicitação, ela é automaticamente encaminhada ao coordenador(a) do curso. Uma vez concedida a aprovação pelo coordenador(a), uma API integrada ao AVA comunica-se com o SISCAD e com o SIGPOS para obter as turmas e os alunos nelas matriculados para realizar uma sincronização diária, ocorrendo a cada 24 horas, para serem criadas e visualizadas as turmas e seus respectivos alunos no AVA. Para representar as falhas ou indisponibilidade nos serviços, o evento intermediário de “erro” é associado à respectiva tarefa. A Figura 61 exibe o Modelo Geral deste PoP.

C.3 Cenário concreto: PoP Bem-estar Animal

Uma das missões do PoP Bem-estar Animal é aumentar a produtividade e o bem-estar animal em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) (SPERANZA; VISOLI; CARROMEU, 2022). Para alcançar essa missão, há a participação dos seguintes processos constituintes: BallPass, BEP e Estação ECOD3, responsáveis pela coleta e transmissão de dados (SPERANZA; VISOLI; CARROMEU, 2022), bem como dos constituintes Dojot, API Embrapa e CPqD PlatiAgro. Esses processos constituintes visam fornecer informações confiáveis ao produtor rural, reduzindo custos por meio da adoção de sistemas ILPF e aumentando a produtividade com base no bem-estar animal e na qualidade do produto final entregue ao consumidor (SPERANZA; VISOLI; CARROMEU, 2022). A Figura 62 apresenta o Modelo Detalhado da Missão “Ganho de produtividade de bovinos” e a Figura 63 apresenta o modelo geral deste PoP.

Em resumo, os constituintes BallPass e BEP coletam dados dos bovinos, armazenando-os temporariamente e transmitindo-os para os respectivos gateways a cada dez segundos. Em caso de falhas na transmissão, uma exceção é acionada para tentar retransmitir os dados posteriormente. Os dados transmitidos com sucesso são então deletados. Quanto às Estações ECOD3, responsáveis pela coleta de dados meteorológicos, elas armazenam e transmitem esses dados para a METOS.

O Dojot, com seus IoT Agents individuais, comunica-se com os gateways dos constituintes BallPass, BEP e Estações ECOD3, sincronizando os dados diariamente e

³ Plataforma de gerenciamento de identidade e acesso de código aberto que fornece recursos de autenticação, autorização e gerenciamento de sessões para aplicativos web e serviços.

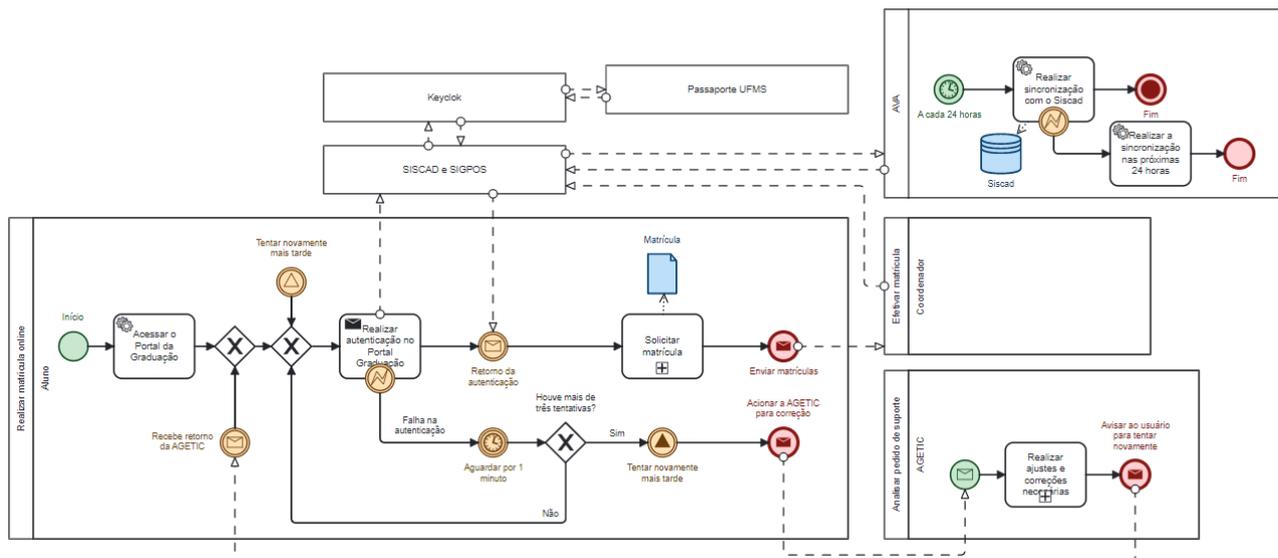


Figura 60 – Modelo Detalhado de Missão “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no AVA” do PoP Educacional-UFMS

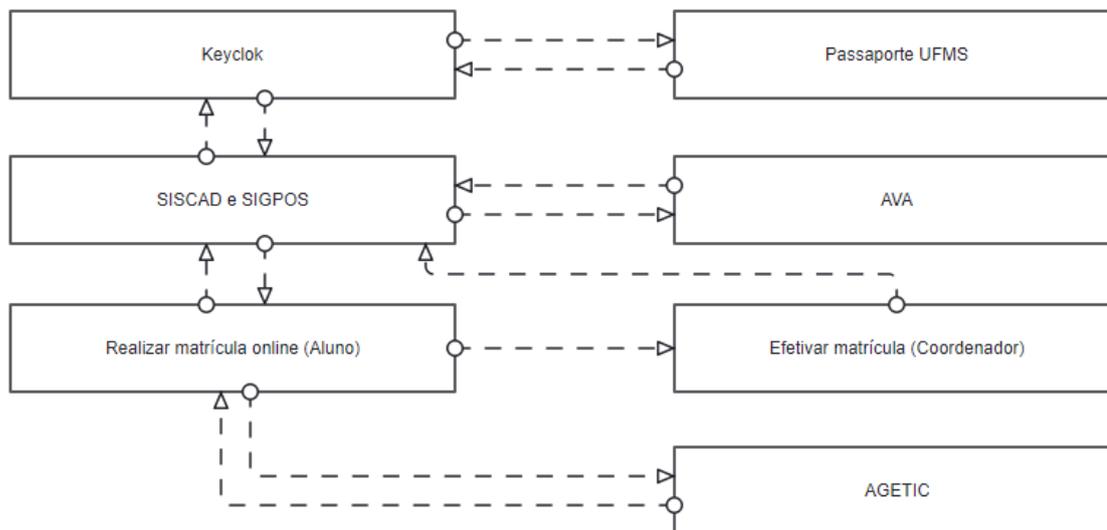


Figura 61 – Modelo Geral do PoP Educacional-UFMS

armazenando-os em um repositório próprio. Diariamente, o constituinte API Embrapa valida o último processamento dos dados e verifica se há novos dados para processar. Caso existam, solicita ao constituinte CPqD PlatiAgro o processamento desses dados, armazenando os resultados. Posteriormente, a API solicita os dados de bem-estar animal, compara os resultados e os exibe no aplicativo móvel para os usuários.

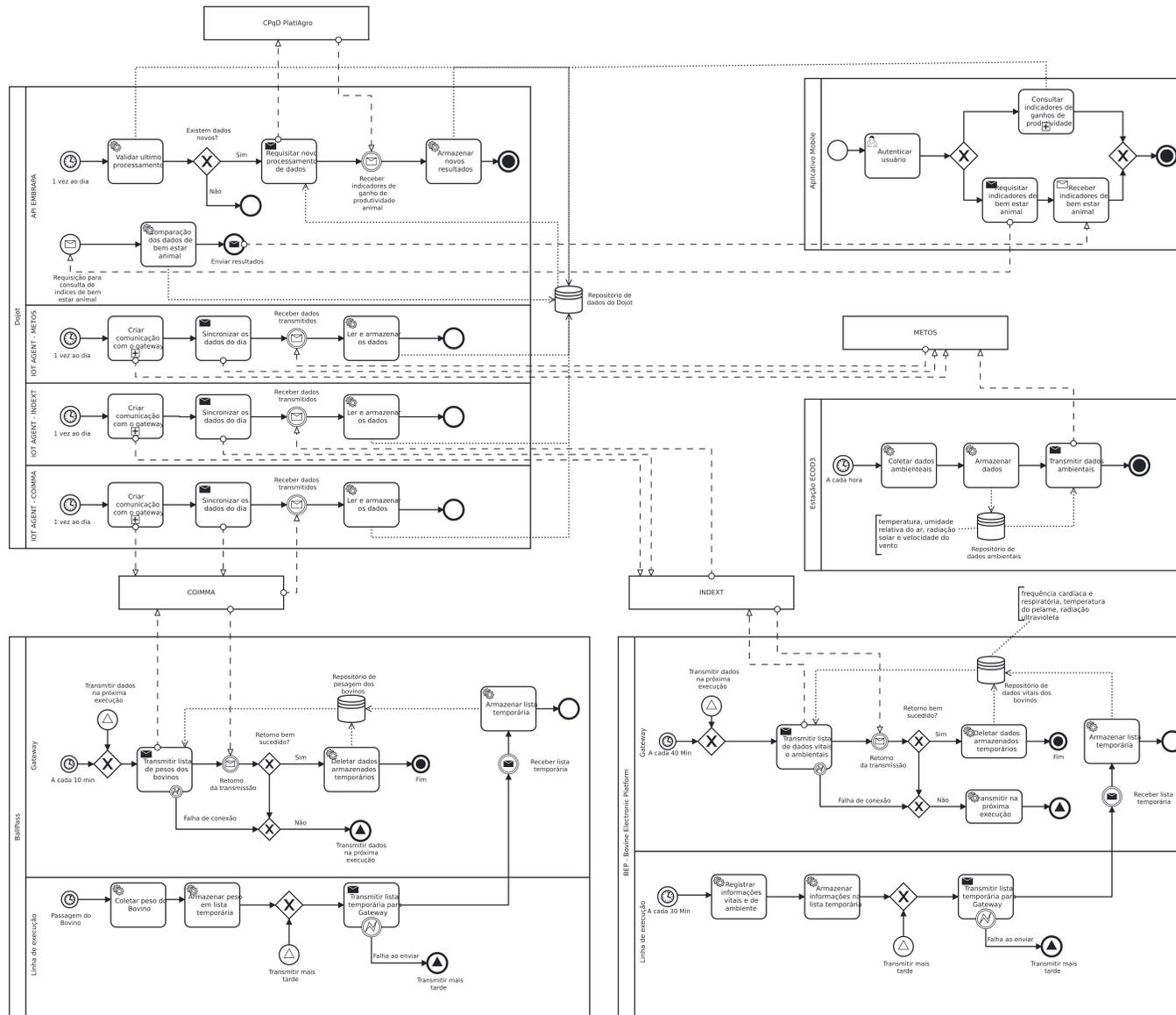


Figura 62 – Modelo Detalhado de Missão “Ganho de produtividade de bovinos” do PoP Bem-estar Animal

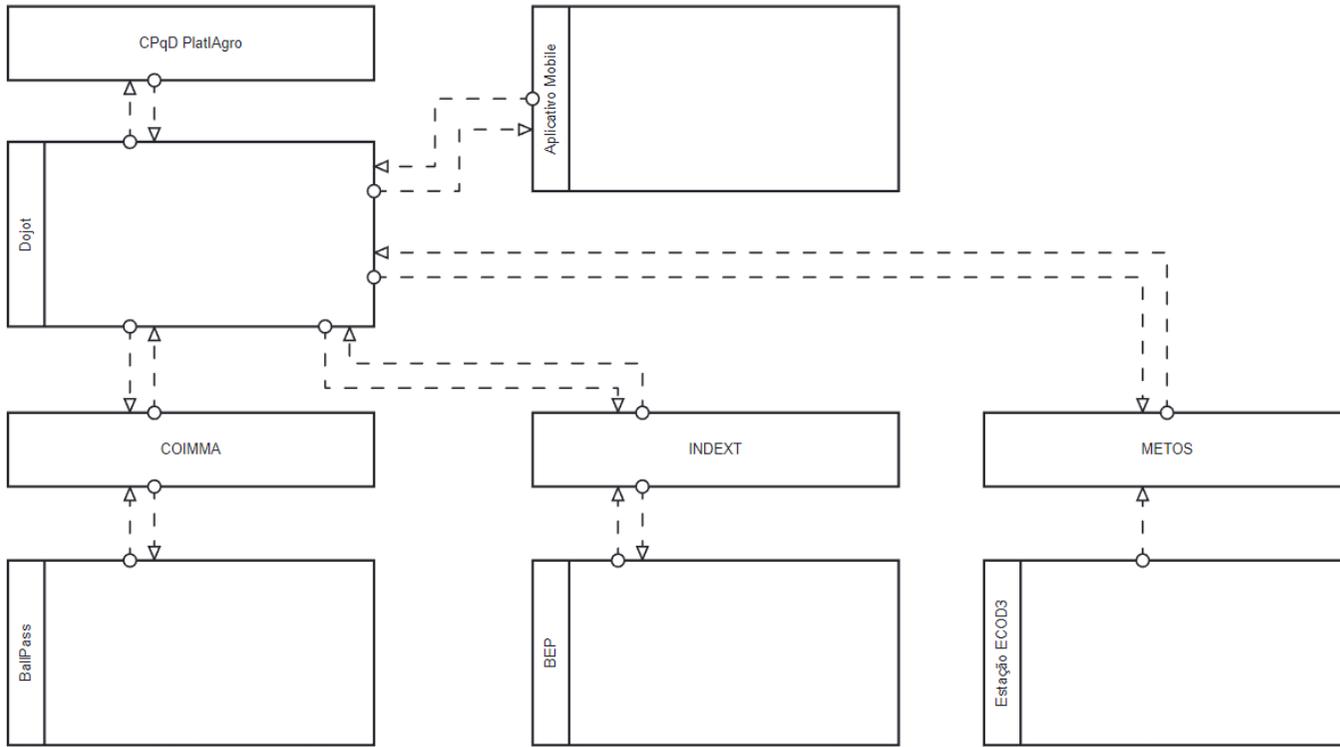


Figura 63 – Modelo Geral do PoP Bem-estar animal

APÊNDICE D – Questionário para Avaliação dos Cenários Abstratos

Este apêndice apresenta o conteúdo do questionário criado no Google Forms para auxiliar na coleta de dados dos participantes durante a avaliação dos cenários abstratos definidos neste trabalho. A Seção D.1 apresenta uma visão geral sobre o objetivo da aplicação do questionário, bem como o termo de consentimento. A Seção D.2 apresenta o conteúdo do questionário, contendo perguntas sobre o perfil do participante e perguntas para obter feedback dos participantes sobre os cenários abstratos definidos.

D.1 Apresentação do questionário

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 à pesquisa.

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 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 \(2019\)](#) e de exemplos de coreografias da especificação BPMN 2.0 da OMG ([Object Management Group, 2013](#)) para o contexto de PoP dirigido (ou seja, quando os processos constituintes automatizados por sistemas constituintes de SoS são controlados por uma autoridade central, isto é, por um processo dominante para alcançar as missões do PoP 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. Publicaremos 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 consequências 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, visando não afetar seu desempenho ou deixar de executar um comportamento;

E-mail:

- Você concorda com o termo de consentimento acima?

– Sim.

– Não.

D.2 Conteúdo do questionário

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 - Tratamento de exceções no envio de requisições entre processos constituintes do PoP.
 - 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 - Tratamento de exceções no recebimento de requisições entre processos constituintes do PoP.
 - 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?

4. Obtenção dos resultados da pesquisa

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

APÊNDICE E – Requisitos Extraídos Manualmente e Automaticamente

Este apêndice apresenta a comparação de todos os requisitos extraídos manualmente com aqueles extraídos automaticamente a partir do mesmo Modelo Detalhado de Missão do PoP utilizado no estudo de caso (ou seja, PoP Educacional-UFMS) e apresentado na Seção 5.3 do Capítulo 5. A comparação é apresentada por tarefa de envio ou de recebimento considerada fonte de informação da extração e apresentada nas Tabelas 41 a 47.

Na extração manual, o analista de requisitos ou engenheiro de SoS deve atribuir um identificador único ao campo “ID” e deverá especificar no campo “Sujeito” o SoS em questão que está sendo considerado. Por outro lado, na extração automática, o campo “ID” é obtido a partir do ID da tarefa de envio ou recebimento de mensagem com erro e o campo “Sujeito” é obtido o SoS em questão a partir do nome do PoP cadastrado na PoP *Modeler*.

Tabela 41 – Comparação da especificação dos requisitos de tolerância a falha extraído manualmente e automaticamente da tarefa de envio “Realizar autenticação no Portal Graduação”

Extração Manual		Extração Automática	
Campo	Conteúdo	Campo	Conteúdo
ID	01	ID	Activity_0t3g3fe
Classe	Tolerância a falhas	Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS	Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)	Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)	Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar autenticação no Portal Graduação”	Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar autenticação no Portal Graduação”
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao realizar autenticação” e “Portal indisponível”	Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao realizar autenticação” e “Portal indisponível”
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”	Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”
Ação	Durante o envio de mensagem do “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar autenticação no Portal Graduação” ao ocorrer “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”	Ação	Durante o envio de mensagem do “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar autenticação no Portal Graduação” ao ocorrer “Falha ao realizar autenticação”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Portal indisponível”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”
Rastreabilidade	Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na Tarefa de envio “Realizar autenticação no Portal Graduação”	Rastreabilidade	Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na SendTask “Realizar autenticação no Portal Graduação”

Tabela 42 – Comparação da especificação dos requisitos de tolerância a falha extraído manualmente e automaticamente da tarefa de recebimento “Receber retorno da autenticação”

Extração Manual		Extração Automática	
Campo	Conteúdo	Campo	Conteúdo
ID	02	ID	Activity_1vkewyb
Classe	Tolerância a falhas	Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS	Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)	Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Constituinte de destino	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)	Constituinte de destino	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber retorno da autenticação”	Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber retorno da autenticação”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Conteúdo inesperado” e “Falha ao receber retorno”	Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Conteúdo inesperado” e “Falha ao receber retorno”
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”	Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”. Para “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber retorno da autenticação” ao ocorrer “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”	Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber retorno da autenticação” ao ocorrer “Conteúdo inesperado”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar autenticação novamente”; ao ocorrer “Falha ao receber retorno”, então “Acionar AGETIC para verificação”, “Aguardar intervalo de tempo” e “Receber retorno da AGETIC”.
Rastreabilidade	Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na Tarefa de recebimento “Receber retorno da autenticação”	Rastreabilidade	Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na ReceiveTask “Receber retorno da autenticação”

Tabela 43 – Comparação da especificação dos requisitos de tolerância a falha extraído manualmente e automaticamente da tarefa de envio “Realizar envio de matrículas”

Extração Manual		Extração Automática	
Campo	Conteúdo	Campo	Conteúdo
ID	03	ID	Activity_1w7v5xp
Classe	Tolerância a falhas	Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS	Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)	Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)	Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar envio de matrículas”	Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Realizar envio de matrículas”
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao enviar matrículas” e “Constituinte indisponível”	Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	“Falha ao enviar matrículas” e “Constituinte indisponível”
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao enviar matrículas”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar envio novamente”. Para “Constituinte indisponível”, então “Realizar envio para outro constituinte provisório”	Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao enviar matrículas”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar envio novamente”. Para “Constituinte indisponível”, então “Realizar envio para outro constituinte provisório”.
Ação	Durante o envio de mensagem do Solicitação de matrícula (parcialmente automático) para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar envio de matrículas” ao ocorrer “Falha ao enviar matrículas”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar envio novamente”; ao ocorrer “Constituinte indisponível”, então “Realizar envio para outro constituinte provisório”	Ação	Durante o envio de mensagem do Solicitação de matrícula (parcialmente automático) para o “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)”, quando “Realizar envio de matrículas” ao ocorrer “Falha ao enviar matrículas”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Realizar envio novamente”; ao ocorrer “Constituinte indisponível”, então “Realizar envio para outro constituinte provisório”.
Rastreabilidade	Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na Tarefa de envio “Realizar envio de matrículas”	Rastreabilidade	Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na SendTask “Realizar envio de matrículas”.

Tabela 44 – Comparação da especificação dos requisitos de tolerância a falha extraído manualmente e automaticamente da tarefa de recebimento “Receber informações de matrícula”

Extração Manual		Extração Automática	
Campo	Conteúdo	Campo	Conteúdo
ID	04	ID	Activity_051bmhz
Classe	Tolerância a falhas	Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS	Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)	Constituinte de origem	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Constituinte de destino	AVA (automático)	Constituinte de destino	AVA (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber informações de matrícula”	Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber informações de matrícula”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”	Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	“Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”	Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”.
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “AVA (automático)”, quando “Receber informações de matrícula” ao ocorrer “Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”	Ação	Durante o recebimento de mensagem do “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para o “AVA (automático)”, quando “Receber informações de matrícula” ao ocorrer “Falha ao receber informações de matrícula para sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”.
Rastreabilidade	Piscina “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Piscina “AVA (automático)” na Tarefa de recebimento “Receber informações de matrícula”	Rastreabilidade	Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” para Participant “AVA (automático)” na ReceiveTask “Receber informações de matrícula”

Tabela 45 – Comparação da especificação dos requisitos de tolerância a falha extraído manualmente e automaticamente da tarefa de envio “Enviar log de sincronização”

Extração Manual		Extração Automática	
Campo	Conteúdo	Campo	Conteúdo
ID	05	ID	Activity_0u3jn6y
Classe	Tolerância a falhas	Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS	Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	AVA (automático)	Constituinte de origem	AVA (automático)
Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)	Constituinte de destino	Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Notificar sobre a sincronização”	Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao “Notificar sobre a sincronização”
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Falha ao envio da notificação sobre a sincronização	Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Falha ao envio da notificação sobre a sincronização
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao envio da notificação sobre a sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”	Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao envio da notificação sobre a sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”
Ação	Durante o envio de mensagem do AVA (automático) para o Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático), quando “Notificar sobre a sincronização” ao ocorrer “Falha ao envio da notificação sobre a sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”	Ação	Durante o envio de mensagem do AVA (automático) para o Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático), quando “Notificar sobre a sincronização” ao ocorrer “Falha ao envio da notificação sobre a sincronização”, então “Realizar a sincronização nas próximas 24 horas”.
Rastreabilidade	Piscina “AVA (automático)” para Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na Tarefa de envio “Notificar sobre a sincronização”	Rastreabilidade	Participant “AVA (automático)” para Participant “Sistema Acadêmico de Graduação (SISCAD) (automático)” na SendTask “Notificar sobre a sincronização”

Tabela 46 – Comparação da especificação dos requisitos de tolerância a falha extraído manualmente e automaticamente da tarefa de recebimento “Receber chamado”

Extração Manual		Extração Automática	
Campo	Conteúdo	Campo	Conteúdo
ID	06	ID	Activity_0x3cauf
Classe	Tolerância a falhas	Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS	Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)	Constituinte de origem	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Constituinte de destino	AGETIC UFMS (parcialmente automático)	Constituinte de destino	AGETIC UFMS (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber chamado”	Momento para ocorrência da falha durante o recebimento da mensagem	Ao “Receber chamado”
Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	Falha durante o recebimento ou ao receber	Quais falhas que ocorrem durante o recebimento da mensagem	Falha durante o recebimento ou ao receber
Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Falha durante o recebimento ou ao receber”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Ajustar o que for necessário”	Como resolver as falhas durante o recebimento da mensagem	Para “Falha durante o recebimento ou ao receber”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Ajustar o que for necessário”.
Ação	Durante o recebimento de mensagem do “AGETIC (parcialmente automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber chamado” ao ocorrer “Falha durante o recebimento ou ao receber”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Ajustar o que for necessário”	Ação	Durante o recebimento de mensagem do “AGETIC (parcialmente automático)” para o “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)”, quando “Receber chamado” ao ocorrer “Falha durante o recebimento ou ao receber”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Ajustar o que for necessário”.
Rastreabilidade	Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Piscina “AGETIC (parcialmente automático)” na Tarefa de recebimento “Receber chamado”	Rastreabilidade	Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” para Participant “AGETIC (parcialmente automático)” na ReceiveTask “Receber chamado”

Tabela 47 – Comparação da especificação dos requisitos de tolerância a falha extraído manualmente e automaticamente da tarefa de envio “Notificar ao aluno”

Extração Manual		Extração Automática	
Campo	Conteúdo	Campo	Conteúdo
ID	07	ID	Activity_02gkhzd
Classe	Tolerância a falhas	Classe	Tolerância a falhas
Sujeito	SoS Educacional-UFMS	Sujeito	SoS Educacional-UFMS
Constituinte de origem	AGETIC (parcialmente automático)	Constituinte de origem	AGETIC (parcialmente automático)
Constituinte de destino	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)	Constituinte de destino	Solicitação de matrícula (parcialmente automático)
Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao Notificar ao aluno	Momento para ocorrência da falha durante o envio da mensagem	Ao Notificar ao aluno
Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Falha ao avisar o aluno e portal indisponível	Quais falhas que ocorrem durante o envio da mensagem	Falha ao avisar o aluno e portal indisponível
Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao avisar o aluno”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Notificar novamente o aluno”. Para “Portal indisponível”, então “Avisar o aluno de outra”	Como resolver as falhas durante o envio da mensagem	Para “Falha ao avisar o aluno”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Notificar novamente o aluno”. Para “Portal indisponível”, então “Avisar o aluno de outra”.
Ação	Durante o envio de mensagem do AGETIC (parcialmente automático) para o Solicitação de matrícula (parcialmente automático), quando “Notificar ao aluno” ao ocorrer “Falha ao avisar o aluno”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Notificar novamente o aluno”; ao ocorrer, “Portal indisponível”, então “Avisar o aluno de outra”	Ação	Durante o envio de mensagem do AGETIC (parcialmente automático) para o Solicitação de matrícula (parcialmente automático), quando “Notificar ao aluno” ao ocorrer “Falha ao avisar o aluno”, então “Aguardar intervalo de tempo” e “Notificar novamente o aluno”; ao ocorrer, “Portal indisponível”, então “Avisar o aluno de outra”.
Rastreabilidade	Piscina “AGETIC (parcialmente automático)” para Piscina “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na Tarefa de envio “Notificar ao aluno”	Rastreabilidade	Participant “AGETIC (parcialmente automático)” para Participant “Solicitação de matrícula (parcialmente automático)” na SendTask “Notificar ao aluno”

APÊNDICE F – Templates no idioma Inglês para Especificação dos Requisitos Extraídos

Este apêndice apresenta os templates definidos no idioma inglês para a especificação detalhada e compacta dos requisitos de tolerância a falhas de SoS, com base nos templates especificados no idioma português (Seção 5.2 do Capítulo 5). Os templates em inglês utilizados para apoiar a especificação detalhada e compacta de requisitos de tolerância a falhas no contexto de envio são exibidos, respectivamente, nas Tabelas 48 e 50, enquanto que aqueles utilizados no contexto de recebimento são ilustrados nas Tabelas 49 e 51. Salienta-se que para que os requisitos de tolerância a falhas de SoS sejam extraídos corretamente em inglês, o Modelo Detalhado de Missão do PoP também deve estar modelado no idioma inglês.

Tabela 48 – Template em inglês para especificação detalhada dos requisitos de tolerância a falhas de envio

Field	Content
ID	Failed sending task ID
Class	Fault Tolerance
Subject	[Subject of the requirement, in this case, it is the SoS itself]
Source Constituent	—
Target Constituent	—
Moment for failure occurrence during the sending message	—
Which failures occur during the sending message	—
How to resolve failures during the sending message	—
Action	—
Traceability	—

Tabela 49 – Template em inglês para especificação detalhada dos requisitos de tolerância a falha de recebimento

Field	Content
ID	Failed receiving task ID
Class	Fault Tolerance
Subject	[Subject of the requirement, in this case, it is the SoS itself]
Source Constituent	—
Target Constituent	—
Moment for failure occurrence during the receiving message	—
Which failures occur during the receiving message	—
How to resolve failures during the receiving message	—
Action	—
Traceability	—

Tabela 50 – Template em inglês para especificação compacta dos requisitos de tolerância a falha de envio

Field	Content
ID	Failed sending task ID
Class	Fault Tolerance
Subject	[Subject of the requirement, in this case, it is the SoS itself]
Action	—
Traceability	—

Tabela 51 – Template em inglês para especificação compacta dos requisitos de tolerância a falha de recebimento

Field	Content
ID	Failed receiving task ID
Class	Fault Tolerance
Subject	[Subject of the requirement, in this case, it is the SoS itself]
Action	—
Traceability	—

APÊNDICE G – Questionário para Avaliação da Ferramenta PoP-FT-RE

Este apêndice apresenta o conteúdo do questionário criado no Google Forms para auxiliar na coleta de dados dos engenheiros de SoS durante a avaliação do uso da ferramenta **PoP-FT-RE** para realizar a extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir do Modelo Detalhado de Missão do PoP utilizado no estudo de caso apresentado na Seção 5.3 do Capítulo 5. A Seção G.1 apresenta uma visão geral sobre o objetivo da aplicação do questionário, bem como o termo de consentimento. A Seção G.2 apresenta o conteúdo do questionário, contendo perguntas relacionadas ao uso da ferramenta e para obter feedback dos engenheiros de SoS sobre a ferramenta.

G.1 Apresentação do questionário

Termo de Consentimento para Avaliação da Ferramenta PoP-FT-RE

Olá, você está sendo convidado(a) para participar como voluntário(a) da avaliação da ferramenta *PoP-based Fault Tolerance Requirements Extraction (PoP-FT-RE)*. Caso opte por não participar, isso não afetará sua relação conosco de forma alguma. Você pode simplesmente selecionar a opção “não” (não concordando com o termo) ou optar por não responder.

Desenvolvemos a ferramenta **PoP-FT-RE** com o objetivo de extrair requisitos de tolerância a falhas de SoS a partir de modelos de PoP. Agora, estamos na fase de avaliação da ferramenta para aprimorá-la e sua colaboração é fundamental.

Seu papel será utilizar a ferramenta para extrair requisitos de tolerância a falhas do SoS Educacional-UFMS a partir do Modelo Detalhado da Missão ‘*Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)*’. Além disso, pedimos que você responda algumas perguntas sobre sua experiência com a ferramenta, e a completude, utilidade e alinhamento dos requisitos extraídos com o negócio.

Caso concorde em participar, pedimos que siga as instruções fornecidas e responda às perguntas até **25/03/2024**. Lembre-se de que sua participação é voluntária e você pode interrompê-la a qualquer momento, sem consequências negativas.

Glossário de Termos:

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

PoP (Processos-de-Processos de Negócios): Conjunto de vários processos de negócios que, juntos, formam grandes processos de negócios complexos e dinâmicos geralmente automatizados por SoS.

Modelo Detalhado de Missão: Representação detalhada das atividades e demais elementos importantes para mostrar os fluxos de execução de processos de negócios envolvidos no alcance de um objetivo específico de negócio de um determinado PoP.

Requisitos de Tolerância a Falhas: Conjunto de especificações que define como um sistema deve se comportar em caso de falha durante a interoperabilidade para manter a sua estabilidade.

Agradecemos desde já!

Atenciosamente, Sidney de Almeida Molina e Maria Istela Cagnin – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

G.2 Conteúdo do questionário

1. Você concorda com o termo de consentimento acima?

- Sim;
- Não;

1. Na sua opinião, as especificações dos requisitos de tolerância a falhas 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 tolerância a falhas 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 Agetic relacionados à funcionalidade “Adicionar turmas e os respectivos alunos matriculados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)”?

- (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 tolerância a falhas?

- (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.