

# PoP-ARE: A Tool for Extracting Systems-of-Systems Non-Functional Requirements from Processes-of-Business Processes

Murilo Gustavo N. Costa\*

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)  
Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil  
murilo.costa@ufms.br

Débora Maria Barroso Paiva

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)  
Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil  
debora.paiva@ufms.br

Sidny de Almeida Molina

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)  
Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil  
sidny.molina@ufms.br

Maria Istela Cagnin

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)  
Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brazil  
istela.machado@ufms.br

## ABSTRACT

**Context:** Assuring the interoperability between distinct software systems, which form Systems-of-Systems (SoS), aiming to reach business objectives of alliances of organizations (i.e., fusion, acquisition or partnership) is challenging. One reason is the managerial and operational independence of these systems. Information obtained from the business level of alliances can help SoS requirements engineers to better understand the interoperability and fault tolerance requirements throughout the interoperability to achieve the SoS stability. **Objective:** We present PoP-ARE, a guideline-based tool for extracting and specifying SoS interoperability and fault tolerance requirements from models of complex and dynamic business processes of alliances of organizations called Processes-of-Business Processes (PoP). **Method:** To observe the ease of use and usefulness of PoP-ARE, we conducted a study with four SoS engineers of two SoS using the Technology Acceptance Model (TAM). **Results:** The results indicate that all of the participants agreed with the ease of tool use, and 75% stated its usefulness. Also, they intend to use PoP-ARE in SoS evolution. **Conclusion:** As PoP-ARE supports the extraction and specification of SoS interoperability and fault tolerance requirements aligned to the business, its outcomes can positively contribute to the SoS stability and the achievement of the business objectives of alliances of organizations.

**Video link:** <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.25913857.v1>

## KEYWORDS

System-of-Systems, Requirements Engineering, Interoperability, Fault Tolerance

## 1 INTRODUÇÃO

Interoperabilidade se refere à capacidade de sistemas de software comunicarem entre si para trocar informações [19], tornando-se um requisito essencial para alcançar os comportamentos de Sistemas-de-Sistemas (SoS) [23]. Além disso, é fundamental garantir que qualquer comportamento inesperado durante a interoperabilidade seja tratado por meio de requisitos de tolerância a falhas para manter a confiabilidade e a estabilidade do SoS [9, 31].

SoS são compostos por sistemas de software heterogêneos (denominados sistemas constituintes) que interoperam entre si, visando oferecer aos interessados funcionalidades mais amplas (ou seja, missões) que não seriam obtidas pelos sistemas constituintes individualmente [16, 24]. SoS geralmente automatizam processos de negócio complexos e dinâmicos de alianças de organizações (resultante de fusões, aquisições ou parcerias) chamados Processos-de-Processos de Negócio (PoP). Por sua vez, PoP são formados por processos de negócios de organizações distintas que precisam trabalhar em conjunto e podem fazer parte ou deixar a aliança a qualquer momento [6]. Portanto, é fundamental garantir a interoperabilidade e a confiabilidade de SoS para alcançar os objetivos estratégicos de negócios de alianças de organizações. Apesar da importância desses requisitos não funcionais para o contexto de SoS [4], é sempre um desafio atendê-los pois os sistemas constituintes que compõem SoS não foram desenvolvidos inicialmente para interoperar de modo adequado com os outros. Outro desafio está relacionado ao alinhamento dos requisitos ao negócio em razão do dinamismo das alianças de organizações para se manterem competitivas e lucrativas [21].

Em paralelo, o entendimento sobre como os processos de negócio das organizações-membro de cada aliança se comunicam apropriadamente pode ajudar a estabelecer o momento e a forma mais adequada dos sistemas constituintes interoperarem entre si, visando alcançar a interoperabilidade tanto em nível de negócio quanto em nível técnico [10]. A mesma premissa pode ser feita em relação ao tratamento de exceções durante a interoperabilidade entre os processos, que podem ajudar na compreensão da tolerância a falhas de SoS nessa perspectiva [29].

Existem ferramentas que extraem requisitos com base em modelos de processos de negócio. Uma delas extrai requisitos de interoperabilidade de SoS em nível arquitetural [28] e outras extraem requisitos funcionais [18, 26] para sistemas de software únicos. Adicionalmente, há ferramentas que se preocupam em incorporar requisitos de segurança [8] e requisitos em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) [2] em nível de negócio. Isso indica que as ferramentas encontradas não consideram informações do nível de negócio para apoiar a extração de requisitos de interoperabilidade e de tolerância a falhas de SoS durante a Engenharia de Requisitos. Essa estratégia ajuda manter a estabilidade

\*Todos os autores contribuíram igualmente para esta pesquisa, que teve apoio financeiro da UFMS, CAPES (código 001) e Fundect.

do SoS e obter alinhamento entre os níveis técnico e de negócio, particularmente no contexto de alianças de organizações.

Este artigo apresenta PoP-ARE, uma ferramenta baseada em um conjunto de diretrizes sistemáticas para extrair e especificar requisitos não funcionais de SoS (particularmente, requisitos de interoperabilidade e de tolerância a falhas) a partir de informações de PoP. Por meio da PoP-ARE, o engenheiro de requisitos de SoS escolhe um modelo de PoP, o tipo de requisito não funcional que deseja extrair e o idioma do formato do requisito. A ferramenta gera automaticamente a especificação dos requisitos em consonância com a ISO/IEC 29148 [20] e com rastreabilidade ao nível de negócio. Portanto, os engenheiros de requisitos de SoS podem utilizar a PoP-ARE para compreender melhor requisitos de interoperabilidade e de tolerância a falhas de SoS alinhados ao negócio de alianças de organizações.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os sistemas constituintes que compõem um SoS possuem independência gerencial e operacional, geralmente pertencem a diferentes organizações e podem estar distribuídos [24] geograficamente ou virtualmente. Esses sistemas constituintes trabalham em conjunto, obtendo comportamentos emergentes, para alcançar as missões do SoS [24]. Adicionalmente, os constituintes do SoS possuem seu próprio ciclo de vida e a maioria dos SoS não possui um único ciclo de vida sequencial que sincroniza os ciclos de vida dos seus constituintes [25]. Além disso, os constituintes podem entrar ou sair do SoS a qualquer momento, em tempo de execução, podendo haver falhas durante a interoperabilidade decorrente da reorganização que deve ocorrer entre eles [3, 16]. Neste sentido, o gerenciamento dos requisitos deve ser considerado durante todo o ciclo de vida do SoS [22], desde a Engenharia de Requisitos.

Ressalta-se que o uso de modelos de processos de negócios tem sido útil como fonte de informação para extrair requisitos funcionais e não funcionais de sistemas individuais [18, 26]. Em particular, essa prática pode trazer diversos benefícios, como melhoria da interação entre analistas de sistemas e de processos com os usuários finais do software que automatiza os processos de negócio e o alinhamento entre os requisitos de software e as necessidades reais do negócio [1, 12, 30]. Particularmente, para extrair requisitos de interoperabilidade de SoS, estudos têm utilizado informação do nível de negócio obtida em artefatos relacionados à responsabilidades e composição dos sistemas constituintes [11, 28], porém não se preocupam com o dinamismo durante a interoperabilidade entre os processos constituintes. Com respeito à elicitación de requisitos de tolerância a falhas de SoS [15], observa-se que os estudos têm considerado como fonte de informação interações entre os constituintes para identificar falhas e vulnerabilidades do SoS representadas em modelos funcionais.

Sob a perspectiva de PoP, os processos de organizações distintas que formam o PoP são denominados processos constituintes e colaboram de maneira oportuna entre eles para alcançar objetivos estratégicos de negócio de alianças de organizações [6]. Uma maneira de representar o PoP é por meio da Visão Detalhada de Missão do PoP, que reflete cada missão do PoP, detalhando todas as suas configurações (ou seja, fluxos de execução) [7]. Especificamente, essa visão possui o **Modelo Detalhado de Missão do PoP**, que é

representado por meio de diagrama de colaboração da BPMN (*Business Process Model and Notation*) [27]. Esse modelo do PoP é fonte de informação valiosa para a extração de requisitos de interoperabilidade e de tolerância a falhas durante a interoperabilidade do SoS. Isso ocorre devido ao fato dele representar em baixo nível a interoperabilidade entre os processos constituintes do PoP para alcançar uma determinada missão e o tratamento de exceções para manter a estabilidade do PoP quando houver qualquer comportamento inesperado durante a interoperabilidade. Ademais, a forma com que a comunicação entre os processos constituintes acontece também pode indicar o tipo de SoS (ou seja, dirigido, reconhecido, colaborativo ou virtual [24]), que também é uma informação relevante durante a extração de requisitos.

Costa [10] e Pereira [14, 29] definiram, respectivamente, cenários abstratos de interoperabilidade e de tratamento de exceções no contexto de PoP para ajudar analistas de negócio na modelagem apropriada do Modelo Detalhado de Missão do PoP. Para isso, os autores utilizaram como base elementos BPMN comumente encontrados em cenários de PoP reais. Portanto, o Modelo Detalhado de Missão do PoP é o artefato de entrada fundamental da ferramenta PoP-ARE. Salienta-se que a elaboração desse modelo, bem como de outros preconizados pelo método M-PoP [7] para representar PoP possui apoio computacional da ferramenta PoP *Modeler* [5]. O módulo de modelagem dessa ferramenta é baseado na ferramenta BPMN.io<sup>1</sup>, por ter sido desenvolvida para a plataforma web, é baseada na especificação BPMN 2.0 [27] da OMG (*Object Management Group*) e possui código fonte aberto. Com base nos modelos dos processos constituintes de organizações distintas envolvidos em uma determinada missão, a PoP *Modeler* gera automaticamente uma versão preliminar do Modelo Detalhado de Missão do PoP. Em seguida, o analista deve incorporar nesse modelo aspectos de interoperabilidade e de tratamento de exceções em conformidade com os cenários abstratos e considerando os objetivos estratégico da aliança de organizações envolvida. Por isso, a ferramenta PoP-ARE foi incorporada à PoP *Modeler* como um módulo para facilitar a sua adoção e utilização.

## 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Oliveira et al. [28] apresentam uma ferramenta que analisa modelos de processos de negócio em BPMN para detectar a necessidade de integração interorganizacional quando os processos de negócios são modelados envolvendo Sistemas de Informação (SI) externos com o intuito de identificar conexões de interoperabilidade entre SI individuais que compõem Sistemas-de-Sistemas de Informação (SoIS), que é uma categoria de SoS. Com isso, a ferramenta colabora na identificação de requisitos de interoperabilidade de SoIS em nível arquitetural, se diferenciando da ferramenta PoP-ARE que elicita e especifica automaticamente esse tipo de requisito durante a Engenharia de Requisitos de SoS.

Outros autores [2] apresentam uma ferramenta baseada em um método para garantir a privacidade de dados pessoais em conformidade com a LGPD em modelos de processos de negócio. Outro estudo [8] se preocupa em incorporar requisitos de segurança em modelos de processos de negócio para facilitar o entendimento desses requisitos desde o nível de negócio. Para isso, propõem uma

<sup>1</sup><https://bpmn.io/>

extensão do BPMN e elementos visuais. Apesar dos autores dos dois últimos trabalhos mencionarem que o modelo de processos pode ser utilizado para apoiar a elicitação de requisitos em conformidade com a LGPD e de requisitos de segurança para sistemas de software, essa etapa da Engenharia de Requisitos não é abordada nos trabalhos.

Salienta-se que o principal diferencial da PoP-ARE é a extração e especificação automática de requisitos de interoperabilidade e de tolerância a falhas de SoS alinhados ao nível de negócio de alianças de organizações.

## 4 FERRAMENTA POP-ARE

O objetivo da ferramenta PoP-ARE é extrair requisitos não funcionais de interoperabilidade e de tolerância a falhas de SoS, durante a interoperabilidade, observando cada Modelo Detalhado de Missão do PoP de interesse. O público-alvo da PoP-ARE são analistas de negócio, analistas de requisitos de SoS, engenheiros de SoS e outros interessados na extração de requisitos não funcionais de SoS tratados pela ferramenta. Além disso, conforme mencionado na Seção 2, devido à importância da ferramenta *PoP Modeler* para o gerenciamento e a modelagem de PoP, decidiu-se desenvolver a PoP-ARE como um módulo da *PoP Modeler*. A PoP-ARE possui licença do tipo *open-source*.

Como premissa para utilizar a PoP-ARE, o Modelo Detalhado de Missão do PoP deve estar em conformidade com os cenários abstratos de interoperabilidade [10] e de tratamento de exceções [14, 29] para que a ferramenta extraia todas as informações necessárias para a obtenção dos requisitos de maneira completa.

A PoP-ARE foi projetada e implementada tomando como base um conjunto de diretrizes para a extração sistemática de requisitos de interoperabilidade [10] e de tolerância a falhas [29] durante a interoperabilidade de SoS. Em linhas gerais, essas diretrizes percorrem o Modelo Detalhado de Missão para obter informações essenciais para a extração e especificação dos requisitos de interesse com base em elementos BPMN utilizados nos cenários abstratos de interoperabilidade (ou seja, fluxo de mensagem, tarefa de envio e de recebimento, evento de início de recebimento, evento de fim de envio, piscina, evento intermediário de envio e recebimento, repositório de dados, objeto de dados, evento intermediário de erro e tempo) e de tratamento de exceções (ou seja, evento de início, evento intermediário de envio e de recebimento de mensagem, evento intermediário de tempo, evento intermediário de erro, tarefas de envio e de recebimento, tarefa manual, desvio exclusivo, evento de fim, evento de fim *terminate* e subprocesso). As diretrizes também estabelecem dois formatos (detalhado ou compacto) para especificar os requisitos. Esses formatos foram definidos com base na sintaxe de especificação de requisitos da norma ISO/IEC 29148 [20] e levando em consideração as informações relevantes, obtidas do Modelo Detalhado de Missão do PoP.

### 4.1 PoP-ARE: Arquitetura

A arquitetura da PoP-ARE é herdada da arquitetura definida para a ferramenta *PoP Modeler*, ou seja, cliente-servidor, conforme ilustrada na Figura 1 por meio de diagrama de implantação da UML (*Unified Modeling Language*). As principais tecnologias utilizadas no

desenvolvimento são Laravel<sup>2</sup> e React<sup>3</sup>. Essas tecnologias, quando usadas em conjunto, viabilizam a criação de uma aplicação web com uma arquitetura desacoplada, na qual o *frontend* e o *backend* são separados e se comunicam via API.

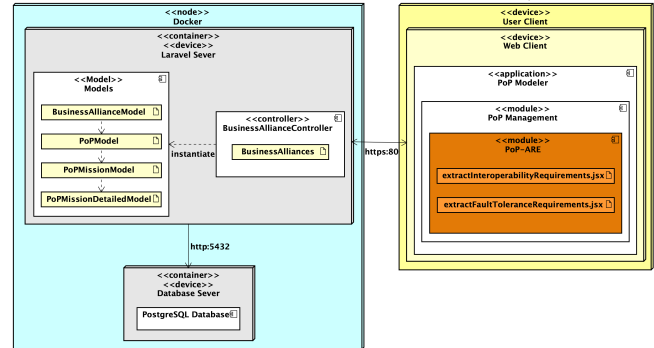


Figura 1: Arquitetura da ferramenta PoP-ARE

Em mais detalhes, a instanciação do servidor é feita através do *framework* Laravel Lumen, que é responsável por realizar toda a persistência de dados de acordo com as regras de negócio definidas. Por sua vez, os dados são armazenados em um repositório PostgreSQL<sup>4</sup>.

A PoP-ARE utiliza a controladora *BusinessAllianceController* da ferramenta *PoP Modeler*, que possui como principal funcionalidade a listagem de todas as *Business Alliances* cadastradas. Para cada *Business Alliance* cadastrada, obtém-se informações relacionadas aos seus PoP (*PoP Model*), missões do PoP (*PoP Mission Model*) e cada Modelo Detalhado de Missão (*PoP Mission Detailed Model*) em arquivo BPMN.

O *frontend* utiliza a tecnologia React e bibliotecas *open source* por meio do gerenciador de pacotes NPM<sup>5</sup> para a criação da interface de usuário e a manipulação de arquivos do tipo BPMN e CSV.

A ferramenta PoP-ARE é um módulo da *PoP Modeler*, localizada dentro do módulo de gerenciamento do PoP (*PoP Management*), dado o agrupamento das informações retornadas via API do servidor. Dessa forma, são identificadas as duas principais funcionalidades da PoP-ARE, que são a extração de requisitos de interoperabilidade e a extração de requisitos de tolerância a falhas de SoS em arquivos CSV. Ambas utilizam a mesma fonte de informação para realizar a extração dos requisitos, que é cada Modelo Detalhado de Missão de um PoP (em arquivo BPMN). Nesse sentido, para cada missão de um PoP, é exibido em seu menu de opções ambas funcionalidades (Figura 4 (1) e (2)).

### 4.2 PoP-ARE: Funcionalidades

Em linhas gerais, a PoP-ARE possui como **entrada** cada Modelo Detalhado de Missão de um PoP e como **saída** a especificação textual dos requisitos em formato CSV. Atualmente, as funcionalidades disponíveis da PoP-ARE são: (i) extrair os requisitos de interoperabilidade e de tolerância a falhas de SoS a partir de cada

<sup>2</sup><https://lumen.laravel.com/>

<sup>3</sup><https://react.dev/>

<sup>4</sup><https://www.postgresql.org/>

<sup>5</sup><https://www.npmjs.com/>

Modelo Detalhado de Missão de um PoP em BPMN, elaborado na ferramenta PoP Modeler; (ii) gerar a especificação textual dos requisitos de interoperabilidade no formato detalhado (com os campos *id*, *classe*, *sujeito*, *ação*, *informação da mensagem relacionada a interoperabilidade*, *condição da interoperabilidade*, *quantidade de mensagens enviadas*, *restrições de tempo para envio da mensagem*, *origem dos dados durante o envio da mensagem*, *falha durante o envio da mensagem*, *fluxo de envio de mensagem de modo privado*, *quantidade de mensagens recebidas por um mesmo constituinte*, *restrições de tempo para recebimento da mensagem*, *destino dos dados durante o recebimento da mensagem*, *falha durante o recebimento da mensagem*, *fluxo de recebimento de mensagem de modo privado e rastreabilidade*) e no formato compacto (com os campos *id*, *classe*, *sujeito*, *informação relacionada a interoperabilidade*, *condição da interoperabilidade*, *descrição textual detalhada e rastreabilidade*); (iii) gerar a especificação textual dos requisitos de tolerância a falhas durante a interoperabilidade (ou seja, no envio e recebimento de retorno de mensagem) no formato detalhado (contendo *id*, *classe*, *sujeito*, *constituente de origem*, *constituente de destino*, *momento para ocorrência da falha*, *quais falhas ocorram*, *como contornas tais falhas*, *ação e rastreabilidade*) e no formato compacto (considerando somente os campos *id*, *classe*, *sujeito*, *ação e rastreabilidade*); (iv) permitir a seleção de idiomas português ou inglês para o formato da especificação dos requisitos extraídos; e (v) permitir o download das especificações dos requisitos em arquivo no formato CSV. Salienta-se que os formatos utilizados para especificar os requisitos estão em conformidade com a norma ISO/IEC 29148 [20].

Inicialmente, para realizar a extração de ambos requisitos, os usuários devem acessar a ferramenta *PoP Modeler*<sup>6</sup> com as suas credenciais. Caso o usuário não possua cadastro, basta se cadastrar.

Em seguida, é necessário informar o Modelo Detalhado de Missão de um PoP (criado previamente com o apoio da *PoP Modeler*) que será considerado pela PoP-ARE como entrada para a extração dos requisitos. Para isso, basta selecionar a opção *PoP Management* (Figura 2 (1)) e escolher uma missão de um determinado PoP por meio do menu *Show PoP* (Figura 2 (2)).

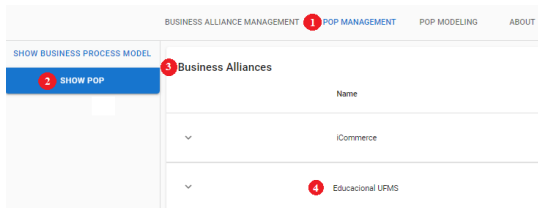


Figura 2: Tela *Business Alliance* da *PoP Modeler*

Após acessar o menu *Show PoP*, cada *Business Alliance* cadastrada é exibida (Figura 2 (3)), incluindo as informações de cada aliança de negócios, bem como os PoP relacionados e suas respectivas missões. Por exemplo, ao clicar na seta indicada para baixo e posicionada ao lado esquerdo do nome da aliança *Educacional UFMS* (Figura 2 (4)), obtém-se o PoP relacionado, ou seja, *PoP Educacional UFMS*, exibido na Figura 3 (1), e sua respectiva missão denominada “*Adicionar*

*turmas e os respectivos alunos matriculados no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)*” (Figura 3 (2)).



Figura 3: Tela *PoP* e *PoP Mission* da *PoP Modeler*

Posteriormente, basta clicar nos três pontos exibidos na posição vertical da opção de menu da missão, conforme apresentado na Figura 3 (3) e selecionar a opção *Extract Interoperability Requirements* (Figura 4 (1)) para extrair os requisitos de interoperabilidade ou *Extract Fault Tolerance Requirements* (Figura 4 (2)) para extrair os requisitos de tolerância a falhas do SoS que automatiza o respectivo PoP.

Em seguida, é necessário selecionar o idioma desejado<sup>7</sup> (português ou inglês) e o tipo do formato da especificação (detalhado ou compacto) dos requisitos que serão extraídos (Figura 5).

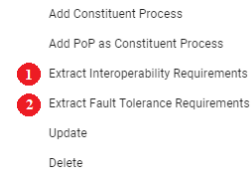


Figura 4: Menu da PoP-ARE para extração dos requisitos

Por fim, é necessário clicar no botão *Extract Requirements* e depois no botão *Download CSV File*, apresentados na Figura 5, para obter a especificação dos requisitos.

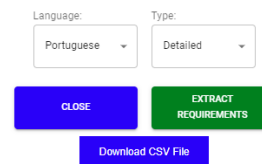


Figura 5: Tipos de idioma e de formato de requisitos da PoP-ARE

## 5 AVALIAÇÃO

O objetivo da avaliação conduzida foi analisar os resultados produzidos pela ferramenta PoP-ARE quanto a sua capacidade de extrair requisitos de interoperabilidade e de tolerância a falhas de SoS a partir de cada Modelo Detalhado de Missão de dois PoP distintos. Foram selecionados quatro participantes por conveniência. Um deles avaliou os requisitos extraídos a partir de um PoP no domínio de

<sup>6</sup><https://popmodeler.ledes.net/signin>

<sup>7</sup>Para a especificação adequada dos requisitos, o idioma deve ser o mesmo idioma do Modelo Detalhado de Missão do PoP utilizado na extração.

agronegócio. Os outros três avaliaram os requisitos extraídos com base em um PoP no domínio educacional. Todos os participantes são analistas de tecnologia da informação, em média, há aproximadamente 13 anos e são engenheiros de SoS. Cada engenheiro avaliou os requisitos extraídos do SoS em que atua.

Como instrumento de coleta, foi criado um questionário na plataforma Google Forms composto por oito questões elaboradas com base no método TAM (*Technology Acceptance Model*) [13]. As questões (Tabela 1) têm como objetivo quantificar cada uma das três métricas fundamentais do TAM: utilidade percebida (UP), facilidade de uso (FU) e previsão de uso futuro (PU). Uma escala Likert de quatro pontos foi utilizada para medir a concordância dos participantes em cada questionamento, variando de discordo a concordo completamente e incluindo um valor neutro.

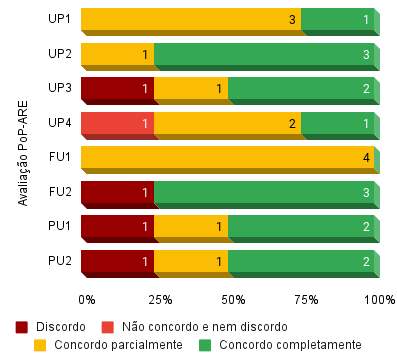
**Tabela 1: Questões de acordo com as métricas UP, FU e PU**

Utilidade Percebida (UP)
UP1. As especificações dos requisitos geradas pela PoP-ARE estão completas.
UP2. As especificações dos requisitos geradas pela PoP-ARE estão alinhadas ao negócio.
UP3. As especificações dos requisitos extraídos pela PoP-ARE são úteis.
UP4. As especificações dos requisitos extraídos pela PoP-ARE estão claras, facilitando o seu entendimento.
Facilidade de Uso (FU)
FU1. Eu considero a ferramenta fácil de utilizar.
FU2. Eu considero que a ferramenta auxilia na extração e especificação de requisitos.
Previsão de uso Futuro (PU)
PU1. Eu utilizaria as especificações obtidas pela ferramenta para potencialmente aprimorar o SoS.
PU2. Eu recomendaria a ferramenta para outros engenheiros de SoS.

## 6 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

Conforme ilustrado na Figura 6, em relação aos requisitos extraídos pela PoP-ARE, três engenheiros concordaram parcialmente quanto à completude dos requisitos (UP1), enquanto um engenheiro concordou completamente. A justificativa para a parcialidade foi relacionada aos requisitos de tolerância a falhas, nos quais foi identificado que algumas informações importantes não estavam na especificação dos requisitos pois não foram consideradas durante a modelagem. Esse fato indica a utilidade dos requisitos para apoiar o refinamento dos modelos do PoP e o alinhamento entre os níveis de negócio (UP2) e técnico, com três engenheiros concordando completamente e um engenheiro concordando parcialmente.

Considerando a utilidade dos requisitos especificados (UP3), dois engenheiros concordaram completamente, um parcialmente e um discordou. A justificativa para a parcialidade foi que, embora os requisitos de interoperabilidade estivessem alinhados e precisos, o campo “condição da interoperabilidade” estava vazio, o que diminuía consideravelmente o valor do requisito. No entanto, a fonte de origem do conteúdo desse campo não havia sido definida na modelagem devido à restrições de sigilo das organizações envolvidas na aliança de organizações do domínio de agronegócio, sugerindo que, ao modelá-la adequadamente, o avaliador estaria em total concordância. A discordância foi observada por um engenheiro em



**Figura 6: Resultados da avaliação da PoP-ARE**

relação aos requisitos de tolerância a falhas, nos quais ele não identificou aplicabilidade dentro de sua função no projeto. No entanto, os demais engenheiros concordaram completamente em relação ao mesmo tópico.

Sob a perspectiva da clareza dos requisitos (UP4), houve uma concordância completa, duas parciais e uma neutra (nem concordo e nem discordo). A justificativa dos engenheiros foi relacionada aos requisitos de tolerância a falhas na qual, indicaram que houve dificuldade para entendimento de alguns campos da especificação, porém não especificaram quais.

Ao analisar a facilidade de uso da ferramenta (FU1), os quatro engenheiros concordaram parcialmente e justificaram que o uso da PoP-ARE somente foi possível com a leitura do manual da ferramenta, pois a funcionalidade de extração de requisitos está condicionada a pré-requisitos como a definição do PoP e de suas missões, bem como a localização do botão para acesso à tela para extração de requisitos.

O feedback dos avaliadores foi positivo sobre a utilidade da ferramenta para realizar as atividades de extração e especificação dos requisitos (FU2) e sobre a indicação a outros engenheiros (PU2). A parcialidade observada foi justificada pelos avaliadores por considerar que a ferramenta poderia ser aprimorada com as sugestões apontadas e, com isso, concordariam completamente com os pontos levantados.

Do ponto de vista do uso dos requisitos (PU1), dois engenheiros concordaram completamente, um concordou parcialmente e um discordou. A justificativa para a concordância parcial está relacionada ao uso condicionado à refatoração do Modelo Detalhado de Missão do PoP, o que aponta a utilidade da ferramenta para o aprimoramento da modelagem já existente. A discordância está relacionada à justificativa apresentada em outra questão, na qual o engenheiro não visualiza utilidade dentro de sua área de atuação.

Em relação às ameaças a validade deste estudo, destacam-se as seguintes: (i) *limitação do domínio do Modelo Detalhado de Missão utilizado*: para mitigar essa ameaça, foram utilizados dois modelos em domínios distintos para a extração dos requisitos. Porém, é necessário observar a completude desses modelos em estudos futuros para não impactar na completude das especificações geradas pela PoP-ARE; (ii) *extração comprometida dos requisitos*: para evitar essa ameaça, observou-se a conformidade de cada Modelo Detalhado de

Missão utilizado com os cenários abstratos de interoperabilidade [10] e de tratamento de exceções [14, 29]; e (iii) *número reduzido de avaliadores*: para contornar essa ameaça, é necessário conduzir avaliações complementares da PoP-ARE com um número maior de engenheiros de SoS e de PoP distintos.

## 7 IMPACTOS DA FERRAMENTA

A ferramenta PoP-ARE impacta positivamente na concepção e evolução de SoS ao auxiliar no levantamento de requisitos não funcionais (em particular, de interoperabilidade e de tolerância a falhas na interoperabilidade) e no estabelecimento de um alinhamento entre os níveis de negócio e técnico do projeto. A partir das informações contidas em cada Modelo Detalhado de Missão de um PoP, é possível identificar pontos de interoperabilidade entre os processos constituintes, bem como atributos que impactam diretamente em sua execução, os quais são essenciais para viabilizar o alcance das missões e dos objetivos estratégicos de alianças de organizações.

Ao realizar a extração de informações de modo automatizado, a ferramenta contribui significativamente para o processo de manutenção e atualização da documentação dos requisitos do SoS. Em mais detalhes, com a modelagem atualizada, é possível manter atualizados os requisitos não funcionais de interoperabilidade e de tolerância a falhas do SoS, garantindo a continuidade e a eficiência dos processos de negócio envolvidos.

PoP-ARE também pode contribuir com o refinamento do Modelo Detalhado de Missão do PoP quando algum campo importante da especificação do requisito não foi extraído devido à ausência de informação no modelo. Ou seja, a partir da análise da completude da especificação dos requisitos extraídos é possível identificar ausência de informação que deve ser incorporada ao nível de negócio. Com isso, é possível melhorar a qualidade de modelos do PoP e também dos requisitos extraídos após o aprimoramento desses modelos tornando-se um processo incremental de melhoria contínua em níveis de negócio e técnico.

## 8 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Quanto aos requisitos de interoperabilidade de SoS, a extração realizada pela PoP-ARE está restrita às informações contidas no momento da troca de mensagens entre dois processos constituintes distintos e externos. Não são consideradas informações de contextos existentes dentro dos constituintes para analisar elementos sucessores ou predecessores ao momento de envio ou recebimento da mensagem, como desvios. Do ponto de vista dos requisitos de tolerância a falhas de SoS, a extração está relacionada ao tratamento de exceções exclusivamente durante a interoperabilidade entre tarefas de envio e de recebimento de retorno de mensagens em PoP. Os elementos BPMN de tratamento de exceções utilizados pela ferramenta são limitados aos cenários reais explorados.

De modo geral, PoP-ARE se refere à extração de requisitos de interoperabilidade e de tolerância a falhas para SoS direcionados, sendo que não foram exploradas outras classificações de SoS, como reconhecido, colaborativo e virtual. Logo, não é possível generalizar a utilização da ferramenta para qualquer tipo de SoS. Outra limitação que merece ser mencionada se refere à quantidade reduzida de participantes na avaliação e também aos domínios e complexidades dos PoP considerados no estudo.

Os trabalhos futuros tendem a explorar a extração de requisitos para outros tipos de SoS, além de aumentar a compatibilidade da ferramenta para analisar arquivos BPMN produzidos por diferentes ferramentas, ampliando assim a cobertura da solução. Também é possível expandir os algoritmos de extração de requisitos para considerar novos elementos BPMN como fonte de informação, com o objetivo de aprimorar a completude dos requisitos. Complementarmente, pode-se analisar a viabilidade de utilizar as informações geradas como parâmetros de entrada em ferramentas [17] que realizam a geração automática de código no contexto de integração dos sistemas constituintes.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou a ferramenta PoP-ARE que apoia a extração sistemática e totalmente automática de requisitos de interoperabilidade e de tolerância a falhas durante a interoperabilidade no contexto de SoS e alinhados ao negócio. PoP-ARE foi concebida com base em um conjunto de diretrizes específicas, que utiliza como entrada modelos PoP (em arquivos BPMN) e gera a especificação desses requisitos de maneira textual (em arquivo CSV), em conformidade com a ISO/IEC 29148 [20] e no formato detalhado ou compacto. Com isso, os requisitos não funcionais extraídos pela PoP-ARE podem ajudar no desenvolvimento e na evolução de SoS com o intuito de manter a sua estabilidade e alcançar os objetivos estratégicos de alianças de organizações. A PoP-ARE foi avaliada por quatro engenheiros de SoS quanto a sua facilidade, utilidade e perspectiva de uso futuro. Para isso, a avaliação foi conduzida com o apoio de um questionário baseado no modelo TAM. Em geral, os resultados da avaliação indicaram que a ferramenta é fácil de utilizar e é útil. Os participantes da avaliação também mostraram interesse em adotá-la na evolução de SoS. Entretanto, foi identificada uma oportunidade de melhoria na interface do usuário para facilitar a localização da PoP-ARE dentro da ferramenta PoP *Modeler*. Como trabalhos futuros, pretende-se incorporar as sugestões de melhorias observadas, incluir uma funcionalidade para analisar a conformidade dos modelos PoP em relação aos cenários abstratos de interoperabilidade [10] e de tratamento de exceções [14, 29] e validar a ferramenta com uma quantidade significativa de participantes, sob a perspectiva de PoP com complexidades e domínios de negócio distintos.

## 10 DISPONIBILIDADE DOS ARTEFATOS

A ferramenta PoP-ARE pode ser acessada em <https://popmodeler.ledes.net/signin> e a sua documentação está disponível em <https://popmodelerdoc.ledes.net/>. Adicionalmente, o código-fonte está disponível nos seguintes repositórios públicos: <https://github.com/popmodeler/frontend>, <https://github.com/popmodeler/backend>.

## REFERÊNCIAS

- [1] Naved Ahmed and Raimundas Matulevičius. 2014. Presentation and validation of method for security requirements elicitation from business processes. In *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. Springer, Cham, 20–35.
- [2] Mariia Bakhtina, Raimundas Matulevičius, and Mari Seeba. 2023. Tool-supported method for privacy analysis of a business process model. *Journal of Information Security and Applications* 76 (2023), 103525.
- [3] Thais Batista. 2013. Challenges for SoS architecture description. In *1st International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS)*. ACM, Montpellier, France, 35–37.

- [4] Thiago Bianchi, Daniel Soares Santos, and Katia Romero Felizardo. 2015. Quality attributes of systems-of-systems: A systematic literature review. In *3rd International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems*. IEEE, Florence, Italy, 23–30.
- [5] Maria Istela Cagnin, Murilo Gustavo Nabarrete Costa, Wellington Gabriel Mattia, and Igor Cássio Toledo Franco. 2023. PoP Modeler versão 2.0. Programa de Computador. Número do registro: BR512023002328-0, data de registro: 15/08/2023, INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
- [6] Maria Istela Cagnin and Elisa Yumi Nakagawa. 2021. Towards Dynamic Processes-of-Business Processes: A New Understanding. *Business Process Management Journal* 27, 5 (2021), 1545–1568.
- [7] Maria Istela Cagnin and Elisa Yumi Nakagawa. 2022. M-PoP: leveraging the systematic modeling of processes-of-business processes. *Business Process Management Journal* 28, 5/6 (2022), 1412–1445.
- [8] Mohamed El Amine Chergui and Sidi Mohamed Benslimane. 2018. A valid BPMN extension for supporting security requirements based on cyber security ontology. In *8th International Conference on Model and Data Engineering*. Springer, Marrakesh, Morocco, 219–232.
- [9] Jason L. Cook. 2008. Multi-state reliability requirements for complex systems. In *Annual Reliability and Maintainability Symposium*. IEEE, Las Vegas, USA, 317–321.
- [10] Murilo Gustavo Nabarrete Costa. 2024. Abordagem baseada em Cenários para Extrair Requisitos de Interoperabilidade de Sistemas-de-Sistemas a partir de Processos-de-Processos de Negócios. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Disponível em: <https://link.ufms.br/86RYi>.
- [11] Murilo Gustavo Nabarrete Costa, Débora Maria Barroso Paiva, and Maria Istela Cagnin. 2022. How are the interoperability requirements addressed in the Systems-of-Systems context?. In *XVIII Brazilian Symposium on Information Systems*. ACM, Curitiba, PR, 1–8.
- [12] Estrela Ferreira Cruz, Ricardo J Machado, and Maribel Yasmina Santos. 2015. Bridging the gap between a set of interrelated business process models and software models. In *17th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS)*, Vol. 2. SciTePress, Barcelona, Spain, 338–345.
- [13] Fred D Davis. 1989. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly* 13, 3 (1989), 319–340.
- [14] Sidney de Almeida Molina, Murilo Gustavo Nabarrete Costa, Abraão Gualberto Nazário, Débora Maria Barroso Paiva, and Maria Istela Cagnin. 2023. 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)*. SBC, Campo Grande, MS, 1–10.
- [15] Sidney de Almeida Molina, Débora Maria Barroso Paiva, and Maria Istela 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*. SBC, Remoto, 315–329.
- [16] Pierre Dersin. 2014. Systems-of-Systems. 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).
- [17] Andrey Gonçalves França, Rafael Zancan Frantz, and Valdemar Vicente Graciano-Neto. 2024. Unveiling a Process for the Establishment of Interoperability Links between Software-Intensive Information Systems. In *XX Brazilian Symposium on Information Systems*. ACM, Juiz de Fora, MG, 1–10.
- [18] Alysso Nathan Giroto, Victor FA Santander, Ivonei F da Silva, and Marco Antônio Toranzo Céspedes. 2017. Deriving use cases from BPMN models: A proposal with computational support. In *36th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)*. IEEE, Arica, Chile, 1–12.
- [19] ISO. 2014. ISO/IEC 25000 SQuaRE - System and Software Quality Requirements and Evaluation.
- [20] ISO/IEC 29148. 2018. ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering. , 104 pages.
- [21] Vinod Kumar and Priti Sharma. 2019. *An insight into mergers and acquisitions: A growth perspective*. Palgrave Macmillan, Singapore.
- [22] Grace A Lewis, Edwin Morris, Patrick Place, Soumya Simanta, and Dennis B Smith. 2009. Requirements engineering for systems of systems. In *3rd Annual IEEE Systems Conference*. IEEE, Vancouver, Canada, 247–252.
- [23] Rita Suzana Maciel, José Maria David, Daniela Claro, and Regina Braga. 2017. Full Interoperability: Challenges and Opportunities for Future Information Systems. In *I GrandSI-BR: Grandes Desafios da Pesquisa em Sistemas de Informação no Brasil para o período de 2016 a 2026*. SBC, Porto Alegre, RS, 107–118.
- [24] Mark Maier. 1998. Architecting Principles for Systems-of-Systems. *Systems Engineering* 1, 4 (1998), 267–284.
- [25] Cornelius Ncube and Soo Ling Lim. 2018. On systems of systems engineering: A Requirements engineering perspective and research agenda. In *26th International Requirements Engineering Conference (RE)*. IEEE, Banff, Canada, 112–123.
- [26] Fernando Aparecido Nogueira and Hilda Carvalho De Oliveira. 2017. Application of heuristics in business process models to support software requirements specification. In *19th International Conference on Enterprise Information Systems*. SciTePress, Porto, Portugal, 40–51.
- [27] Object Management Group. 2013. Business Process Model and Notation (BPMN). <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/>. Access in: 28/02/2024.
- [28] Lucas Oliveira da Silva, Aline Pires Vieira Vasconcelos, Simone Vasconcelos Silva, and Rodrigo Pereira Santos. 2022. A Systems-of-Information Systems Identification Method based on Business Process Models Analysis. *Revista Gestão & Tecnologia* 22, 4 (2022), 90–115.
- [29] Sidney de Almeida Molina Pereira. 2024. Abordagem baseada em Cenários para Extrair Requisitos de Tolerância a Falhas de Sistemas-de-Sistemas a partir de Processos-de-Processos de Negócios. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Disponível em: <https://link.ufms.br/AayUo>.
- [30] Adam Przybyłek. 2014. A business-oriented approach to requirements elicitation. In *9th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE)*. IEEE, Lisbon, Portugal, 1–12.
- [31] Imad Sanduka and Roman Obermaisser. 2015. Model-based development of systems-of-systems with reliability requirements. In *13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. IEEE, Cambridge, UK, 1531–1538.