

Implementation of Fairness Measures: Systems-of-Systems Governance: A Systematic Mapping of the Literature

Governança de Sistemas-de-Sistemas: Um Mapeamento Sistemático da Literatura

Edison Andrade Martins Morais , Eliomar Araújo de Lima , Valdemar Vicente Graciano-Neto 

Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil
{eammorais, eliomar.lima, valdemarneto}@ufg.br

Abstract *Systems-of-Systems (SoS) Governance refers to the structure, processes and policies established to manage and coordinate a set of interconnected systems that work together to achieve common goals. Due to the nature of both areas (Governance and SoS), and the possible inherent interaction between them, it is assumed that there are benefits arising from the application of governance principles in SoS. In this sense, the main contribution of this article is the presentation of the results of a systematic mapping that illustrates this application. For this purpose, a protocol was used that prescribes the automatic search in six databases that returned 804 studies, of which 40 were included for analysis, the results of which show that (i) Governance in SoS is a concept already defined in the literature, and helps to ensure that the constituent systems are integrated effectively, and that the SoS as a whole achieves its objectives, (ii) only 14 of the 40 (35%) included studies show the application of Governance in SoS in practice, which shows a difficulty in institutionalizing governance principles in SoS scenarios, which could be research material, (iii) none of the studies included shows how to evaluate the use of governance in SoS.*

Keywords: *Governance · Systems-of-Systems · Systematic Mapping*

Resumo Governança de Sistemas-de-Sistemas (SoS) se refere à estrutura, processos e políticas estabelecidos para gerenciar e coordenar um conjunto de sistemas interconectados que trabalham em conjunto para alcançar objetivos comuns. Devido à natureza de ambas as áreas (Governança e SoS), e da possível interação inerente entre elas, pressupõe-se que existam benefícios advindos da aplicação dos princípios de governança em SoS. Neste sentido, a principal contribuição deste artigo é a apresentação dos resultados de um mapeamento sistemático que ilustra esta aplicação. Para este propósito foi utilizado protocolo que prescreve a busca automática em seis bases de dados que retornou 804 estudos, dos quais 40 foram incluídos para análise, cujos resultados mostram que (i) Governança em SoS é um conceito já definido na literatura, e ajuda garantir que os sistemas constituintes sejam integrados de forma eficaz, e que o SoS como um todo atinja seus objetivos, (ii) apenas 14 dos 40 (35%) estudos incluídos mostram a aplicação de Governança em SoS na prática, o que mostra uma dificuldade de institucionalização de princípios de governança em cenários

de SoS, o que pode ser material de investigação, (iii) nenhum dos estudos incluídos mostra como avaliar o uso de governança em SoS.

Palavra-Chave: *Governança · Sistemas-de-Sistemas · Mapeamento Sistemático*

1. Introdução

Sistemas-de-Sistemas (SoS¹, do inglês *Systems-of-Systems*) são conjuntos de sistemas independentes e interconectados, que interagem para fornecer uma funcionalidade maior do que a soma de suas partes individuais. Cada sistema dentro do conjunto é chamado de constituinte, os quais mantém sua autonomia e objetivos específicos, e contribuem para seus objetivos globais (Maier, 1998; Nielsen et al., 2015). Sistemas de Gerenciamento de Tráfego Aéreo (Zhang et al., 2016), de Transporte Inteligente (Wu et al., 2002) e Cidades Inteligentes (Neto et al., 2023) são exemplos de SoS. O primeiro representa um tipo de SoS composto por radares, sistemas de comunicação, navegação, centros de controle de tráfego aéreo, companhias aéreas e aeronaves. O segundo geralmente é composto por sistemas de gestão de tráfego, transporte público, pagamento eletrônico, informação ao usuário e controle de veículos conectados e autônomos. Já as cidades inteligentes representam uma tendência que envolve inúmeros sistemas de informação, com objetivo de gerir uma cidade enquanto interoperam com constituintes em diversos níveis e de diversos tipos (Batista et al., 2021). Mas independentemente da natureza do SoS, cada constituinte exemplificado tem sua própria complexidade e desafios específicos, sendo que a sua interconexão e colaboração é o que permite o funcionamento coeso (capacidade de seus componentes trabalharem juntos de forma harmoniosa e integrada) e eficaz (alcance de seus objetivos de forma eficiente) do SoS como um todo.

No contexto da área de Sistemas de Informação (SI), os SoS são de fundamental importância. A relação entre SoS e SI é multifacetada e pode ser observada sob diferentes pontos de vista: (i) SI como componente de SoS: muitas vezes, os SI atuam como componentes de um SoS. Por exemplo, um sistema de controle de cadeia de suprimentos é um SoS que inclui diversos SIs utilizados para gerenciar fornecedores, fabricantes, distribuidores, etc. (ii) SI para gerenciar SoS: os SI podem ser utilizados para gerenciar a complexidade de um SoS, coletando dados sobre o desempenho dos seus componentes, identificando problemas e otimizando o funcionamento do sistema como um todo. (iii) SoS para fornecer serviços de informação: um SoS pode ser projetado para fornecer serviços de informação, como um sistema de e-commerce, por exemplo, que integra diversos sistemas para processar pedidos, gerenciar estoque e realizar pagamentos. (iv) Evolução contínua: com o avanço das tecnologias da informação, a relação entre SoS e SI está em constante evolução, uma vez que os SI têm se tornado cada vez mais complexos e interconectados, dando origem a novos tipos de SoS.

O GranDSI-BR² (Boscarioli et al., 2017), documento que representa um marco importante para a pesquisa em SI no Brasil, delineando os principais desafios e oportunidades para a área entre os anos de 2016 e 2026, posiciona SoS como uma área de pesquisa importante, dada sua complexidade e relevância para diversos setores. O

¹ Deste ponto em diante, o acrônimo SoS será utilizado de forma intercambiável para denotar ambas as formas do termo (singular e plural): Sistema-de-Sistemas e Sistemas-de-Sistemas.

² *I GranDSI-BR: Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026*. Disponível em <https://books-sol.sbc.org.br/index.php/sbc/catalog/view/28/99/249>.

documento define três pontos principais relacionadas aos SoS: (i) Grandes desafios: gerenciamento da complexidade, considerando a natureza heterogênea e distribuída dos SoS, que exigem novas metodologias para sua gestão e controle; interoperabilidade, por meio da integração de sistemas diversos e legados, demandando soluções inovadoras; segurança, através da proteção de dados e a garantia da disponibilidade dos serviços, especialmente em ambientes críticos; inovação, pois os SoS representam uma fronteira para a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, como inteligência artificial e internet das coisas. (ii) Impacto social: os SoS têm o potencial de transformar diversos setores, como saúde, transporte, energia e cidades inteligentes, por exemplo, no sentido de contribuir para questões como a resolução de problemas sociais e desenvolvimento sustentável. (iii) Formação de profissionais: a crescente demanda por profissionais qualificados para lidar com a complexidade dos SoS exige a revisão dos currículos e a oferta de programas de pós-graduação especializados.

Já o termo Governança se popularizou nos Estados Unidos em 1991, por meio de uma publicação do banco Mundial, que define o termo como o conjunto de valores, princípios, papéis, propósitos, regras e processos que rege o mecanismo de gestão das empresas (Rossetti et al., 2014), representando o processo pelo qual as sociedades orientam seus negócios e suas relações sociais, em que o poder é exercido na administração dos recursos econômicos e sociais de um país, visando seu desenvolvimento. Ao longo do tempo esse conceito evoluiu e ganhou vários significados. Pode ser visto como um conceito difuso, que pode ser observado pelo ponto de vista de gestão de empresas (corporativa), preservação do meio ambiente (ambiental) ou forma de combate a desvios e corrupção no serviço público (pública) (Alves, 2001). Ou um conjunto de normas, leis, regulamentos públicos ou privados, que organizam, direcionam e comandam as relações de uma empresa (controladores e administradores) com seus investidores, apresentando uma visão mais relacionada à minimização de conflitos existentes entre essas partes (Garcia, 2005).

Independentemente do contexto em que é aplicada, espera-se que a governança apresente uma série de benefícios, principalmente aqueles relacionados à redução de riscos, aumento da transparência, melhoria na eficiência e reputação das organizações. A governança corporativa, por exemplo, ajuda a (i) identificar e mitigar riscos, como fraudes, indícios de corrupção e conflitos de interesse, (ii) melhorar a eficiência da organização por meio da definição de processos e controles mais eficientes, (iii) aumentar a transparência por meio da divulgação de informações de forma clara e acessível, fazendo com que as empresas tenham melhor reputação, tornando-as mais confiáveis e atrativas para investidores, clientes e parceiros.

Tendo como base as definições retrocitadas, parte-se da hipótese que a aplicação dos princípios de governança na área de SoS tende a ser algo relevante, uma vez que pode-se pressupor que existam diversos benefícios relacionados a essa associação, como os descritos por Katina (et al., 2019): (i) Coordenação e colaboração: estabelecer mecanismos para que os diferentes sistemas que compõem o SoS trabalhem juntos de forma harmoniosa e eficiente; (ii) Tomada de decisão: definir processos para tomar decisões estratégicas e operacionais relacionadas ao SoS, considerando os interesses de todos os *stakeholders*; (iii) Alocação de recursos: gerenciar a alocação de recursos financeiros, humanos e tecnológicos para o SoS. (iv) Gerenciamento de riscos: identificar e mitigar os riscos associados ao SoS, como falhas, atrasos e violações de segurança. (v)

Conformidade com normas e regulamentos: assegurar que o SoS esteja em conformidade com as leis e regulamentos aplicáveis.

Considerando o pressuposto de que podem existir diversos benefícios relacionados à associação entre governança e SoS, o propósito deste artigo é apresentar um estudo secundário na forma de um mapeamento sistemático, que tem como objetivo principal identificar e analisar a literatura disponível sobre o assunto, por meio da análise de estudos primários que evidenciem a utilização dos princípios de governança na área SoS e como isso ocorre na prática, visando responder às seguintes perguntas: (i) entender o que é a governança no contexto de SoS, (ii) como a governança é usada nesse contexto e (iii) como avaliar esta utilização. Para alcançar o objetivo proposto, foi estabelecido um protocolo de estudo secundário que segue os princípios de estudos sistemáticos (Felizardo et al., 2017; Kitchenham et al., 2007; Petersen et al., 2015), incluindo definição de questões de pesquisa, identificação, seleção e avaliação de estudos, extração e síntese de dados.

Além de alcançar o objetivo proposto neste estudo, analisar a literatura sobre Governança de SoS é importante porque permite (i) identificar as principais oportunidades de pesquisa na área, por meio da identificação dos desafios mais comuns e as melhores práticas para superá-los; (ii) comparar diferentes modelos de governança, por meio da análise dos diferentes modelos propostos na literatura e identificação daquele que melhor se adapta às características de cada SoS; (iii) aprender com os relatos de experiência e com os estudos de caso observados, através do entendimento dos sucessos e fracassos de outras propostas de governança de SoS, evitando erros e adotando as melhores práticas; e (iv) desenvolver propostas que possam ser utilizadas na prática, como modelos ou *frameworks* de governança de SoS que possam ser instanciados em situações reais, por exemplo. Além disso, há poucas revisões bibliográficas sobre o assunto, Calida (et al., 2016) e Katina (et al., 2019) são exemplos de trabalhos mais recentes, o que pode representar uma oportunidade de contribuição relevante de pesquisa na área.

As principais contribuições deste estudo são apresentadas considerando a análise dos dados coletados, e das implicações dos resultados observados. Basicamente, foram identificadas (i) lacunas na literatura, indicando áreas em que poucas pesquisas foram realizadas, (ii) sínteses de resultados de pesquisas, com objetivo de sintetizar os resultados obtidos em estudos anteriores, fornecendo uma visão geral do estado da arte na área, (iii) identificação de novas teorias ou modelos, visando fornecer evidências para o seu desenvolvimento, (iv) recomendações para políticas ou práticas, com base nos resultados da pesquisa. Além disso, o resultados deste mapeamento indicam que (i) Governança em SoS é um conceito já definido na literatura, e ajuda a garantir que os sistemas constituintes sejam integrados de forma eficaz, e que o SoS como um todo atinja seus objetivos, (ii) apenas 14 dos 40 (35%) estudos incluídos mostram a aplicação de Governança em SoS na prática, o que mostra uma dificuldade de institucionalização de princípios de governança em cenários de SoS, o que pode ser material de investigação, (iii) nenhum dos estudos incluídos mostra como avaliar o uso de governança em SoS. Oportunidades de pesquisa foram identificadas para guiar a comunidade de SoS na investigação do assunto nos próximos anos.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica, a Seção 3 apresenta o detalhamento do protocolo de mapeamento sistemático, a Seção 4 a etapa de extração e síntese dos dados, a Seção 5 apresenta

discussões, ameaças à validade, e oportunidade e desafios, e a Seção 6 apresenta as considerações finais.

2. Fundamentação Teórica

Os SoS podem ser vistos como arranjos de sistemas independentes, construídos em uma hierarquia de complexidade, organizados por meio de uma estrutura dinâmica, que permite que o sistema se adapte ao longo do tempo, podendo ser afetado por eventos externos (sistema aberto). Dentre suas principais características está no fato de possuírem duas dimensões bem definidas: (i) independência operacional entre seus constituintes, uma vez a operação de um componente é própria dentro do escopo do SOS que, por sua vez, possui propriedades que não são simplesmente a soma das funcionalidades de seus componentes; (ii) independência gerencial, uma vez que o SoS é composto por múltiplos sistemas independentes, cada um com sua própria organização e objetivos, que podem ser desenvolvidos por diferentes organizações, utilizando diferentes tecnologias e padrões, e que evoluem ao longo do tempo, podendo sofrer mudanças em suas funcionalidades e requisitos. Além disso tratam-se de sistemas dinâmicos, sujeitos a mudanças constantes em seu ambiente e componentes, que possuem ciclo de vida próprios, desde seu desenvolvimento até sua desativação, e são capazes de se adaptar às mudanças em seus requisitos funcionais e não funcionais (Maier, 1998; Nielsen et al., 2015).

Dentre os vários tipos de SoS disponíveis, Graciano-Neto (et al., 2017) apresenta os Sistemas-de-Sistemas de Informação (SoSI, do inglês *Systems-of-Information Systems*), que se trata de um tipo específico de SoS que se concentra na integração de múltiplos Sistemas de Informação (SI). Esses sistemas geralmente são heterogêneos, utilizam diferentes tecnologias, padrões e possuem propósitos diversos, sendo que sua integração visa criar um sistema maior e mais complexo, capaz de fornecer informações e serviços de forma mais eficiente e abrangente. Naturalmente os SoSI tendem a representar uma evolução natural dos SI, especialmente sob o ponto de vista da complexidade, pois ao invés de um único sistema isolado, os SoSI são compostos por múltiplos SI interconectados, cada um com suas próprias funcionalidades e objetivos, mas trabalhando em conjunto para alcançar um objetivo comum mais amplo. Sendo assim possuem características próprias como heterogeneidade, autonomia e necessidade de evolução contínua, por exemplo. No contexto deste estudo, os SoSI se tornam então bastante relevantes, uma vez que este estudo se trata de um trabalho relacionado à área de SI. Entretanto, outros trabalhos relacionados a outros tipos de SOS também serão considerados.

Já a governança é o conjunto de mecanismos, processos e relações que garantem que uma organização seja dirigida e controlada com o objetivo de criar valor no longo prazo para todas as partes interessadas. Em outras palavras, governança é o ato de governar, mas não no sentido político, e sim no sentido de direcionar, controlar e supervisionar (Rossetti et al., 2014). Neste estudo, um dos objetivos é entender como este conceito está relacionado aos SoS no contexto da área de SI. O Modelo Corporativo para Governança e Gestão de TI das Organizações (COBIT, do inglês *Control Objectives for Information and related Technology*) (ISACA, 2102) define governança como a estrutura, princípios e políticas, modelos, processos e práticas, informação, habilidades, cultura, ética e comportamento para determinar a orientação e monitorar a conformidade e o desempenho da organização em consonância com o propósito geral e os objetivos definidos. A governança tem o papel de definir a responsabilidade e tomada de decisões

(entre outros elementos) e seu objetivo é garantir a transparência, responsabilidade, equidade e sustentabilidade nas operações e nas relações de uma organização, definindo suas regras, estabelecendo papéis e responsabilidades dos atores envolvidos, e buscando alcançar um equilíbrio entre os interesses das diferentes partes interessadas, como acionistas, colaboradores, clientes, comunidade e sociedade.

Na prática a governança pode ser vista como um mecanismo de direcionamento, controle e supervisão, cujas ações interligadas visam garantir que uma organização alcance seus objetivos de forma eficiente e eficaz. (i) Direcionar significa definir a direção, estabelecer os objetivos estratégicos da organização, ou seja, aonde se quer chegar. Definir quais são as ações mais importantes para alcançar esses objetivos, distribuir os recursos (financeiros, humanos, tecnológicos) de forma a apoiar as prioridades definidas e transmitir a visão e os objetivos da organização para todos os colaboradores, garantindo o alinhamento com os planos estratégicos. (ii) Controlar está relacionado a monitorar o desempenho, por meio do acompanhamento dos resultados e indicadores de desempenho, com objetivo de verificar se a organização está no caminho certo, detectar qualquer desvio em relação aos objetivos e metas estabelecidos, implementar ações para corrigir os desvios e garantir que a organização volte ao caminho certo e identificar, além de avaliar os riscos que podem afetar o alcance dos objetivos. (iii) Supervisionar significa verificar se as atividades estão sendo realizadas de acordo com os procedimentos e normas estabelecidos, fornecer orientação e suporte aos colaboradores para que possam desempenhar suas funções de forma eficaz e avaliar seu desempenho individual, e fornecer *feedback* para melhoria.

Estes papéis são desempenhados por diferentes entidades. Na governança pública, por exemplo, existem diversos órgãos de controle e fiscalização que definem mecanismos de governança tanto para organizações públicas quanto privadas. Órgãos como tribunais de contas, controladorias, ministérios públicos, conselhos e agências de regulação geralmente são os principais envolvidos. Os tribunais são órgãos de controle externo, responsáveis pela definição de mecanismos de governança para as empresas estatais, as controladorias são responsáveis pelo controle interno dos órgãos públicos e os ministérios são responsáveis pela fiscalização da aplicação dos mecanismos de governança. As agências são responsáveis por estabelecer regras e regulamentações que visam garantir a transparência, eficiência e responsabilidade das organizações reguladas, estabelecendo princípios e diretrizes de governança, exigindo, implementando e monitorando sua adoção e aplicando sanções pelas não conformidades. Já os conselhos têm papel semelhante ao das agências, porém mais relacionado à fiscalização, supervisão e orientação em relação a aplicação dos mecanismos de governança.

Neste contexto, garantir que os SoS estejam em conformidade com o que foi definido pela governança torna-se essencial, ou seja, é importante que os SoS funcionem de acordo com as regras definidas pela governança, com objetivo de garantir que os constituintes funcionem de forma harmoniosa e eficaz em conjunto, por meio da definição de estruturas organizacionais, processos de tomada de decisão, políticas, normas e diretrizes que promovam a cooperação, a coordenação e a interoperabilidade entre eles. Em outras palavras, a definição de Governança de SoS, proposta por Darabi (et al., 2019), se refere à estrutura e aos processos que orientam a tomada de decisões, a coordenação e o gerenciamento de um sistema complexo composto por diversos sistemas independentes. Envolve (i) definição de objetivos e estratégias, por meio de metas claras para o SoS e como serão alcançadas, (ii) estrutura de governança, através das criação de uma estrutura

organizacional que facilite a colaboração e a tomada de decisões entre os stakeholders, (iii) processos de decisão, estabelecendo processos formalizados para tomar decisões estratégicas e operacionais relacionadas ao SoS, (iv) alocação de recursos, pelo gerenciamento e alocação de recursos financeiros, humanos e tecnológicos para o SoS, (v) gerenciamento de riscos, pela identificação e mitigação dos riscos associados ao SoS, como falhas, atrasos e violações de segurança, e (vi) conformidade com normas e regulamentos, assegurando que o SoS esteja em conformidade com as leis e regulamentos aplicáveis.

Na prática, pode-se dizer que a Governança de SoS ocorre por meio da aplicação de um Modelo de Governança em um ambiente de SoS, que define um conjunto de regras, processos e estruturas que definem como um grupo complexo de sistemas interconectados será gerenciado e controlado. Não existe um modelo único e definitivo, pois a escolha do modelo ideal depende de diversos fatores, como (i) natureza do SoS: grau de complexidade, interdependência entre os componentes, e nível de autonomia de cada sistema, (ii) contexto organizacional: cultura organizacional, estrutura, e objetivos estratégicos, (iii) ambiente externo: regulamentações, mercado, e fatores socioeconômicos (Katina et al., 2019). Em geral os modelos de Governança de SoS podem ser classificados da seguinte forma: (i) Governança Federada (Kannabiran et al., 2010): neste modelo, cada sistema mantém um alto grau de autonomia, mas existe um órgão central responsável por coordenar as atividades e garantir a consistência do SoS. (ii) Governança Hierárquica (Kou et al., 2017): um sistema centralizado controla todos os outros sistemas, tomando as decisões estratégicas e operacionais. (iii) Governança em Rede (Kim et al., 2011): a governança é distribuída entre os diferentes sistemas, com cada um tendo um papel específico na tomada de decisões. (iv) Governança Adaptativa (Rijke et al., 2012): o modelo de governança evolui ao longo do tempo em resposta às mudanças no ambiente e nas necessidades do SoS. (v) Governança Baseada em Serviços (Nguyen et al., 2021): A governança se concentra na gestão de serviços e interfaces entre os diferentes sistemas.

No que diz respeito aos trabalhos relacionados, foram encontrados apenas estudos primários relacionados ao tema. Assim, este talvez seja o primeiro estudo secundário relacionado a Governança de SoS. A nota técnica "*System-of-systems governance: New patterns of thought*³" é um documento publicado pelo *Software Engineering Institute (SEI)* em 2007, que define os conceitos básicos de SoS e Governança de SoS, sendo dividido em duas seções principais. A seção de abordagens tradicionais de governança de SoS discute as principais abordagens que têm sido usadas para governar SoS. Essas abordagens são baseadas em uma visão de SoS como uma coleção de sistemas separados. A seção de um novo modelo de governança de SoS propõe um modelo de governança de SoS que é baseado em uma visão de SoS como um sistema único. O modelo é baseado nos princípios de integridade, transparência, responsabilidade e flexibilidade.

O livro *Critical Infrastructures, Key Resources, Key Assets Risk, Vulnerability, Resilience, Fragility, and Perception Governance* (Calida, 2018) trata da governança de infraestruturas críticas, recursos-chave e ativos-chave de organizações e discute os riscos, vulnerabilidades, resiliência, fragilidades e percepções de infraestruturas críticas, e propõe um modelo de governança para mitigar esses riscos. O capítulo *System of Systems Governance* explica os conceitos de governança, avaliação de risco e vulnerabilidade no

³ <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA467577.pdf>

contexto de um SoS, que é utilizado para modelar o mundo real, por meio de dados disponíveis de forma pública no *World Factbook da Central Intelligence Agency*⁴ (CIA) dos EUA. O modelo proposto sugere a possibilidade de medir, e até prever, a vulnerabilidade das nações com base em um número de indicadores.

O artigo Fatores de Governança em Sistemas-de-Sistemas: Análise de uma Instituição Pública (Imamura et al., 2020) discute a importância de Governança de SoS para o sucesso de projetos em organizações públicas brasileiras, com objetivo de garantir que os objetivos e interesses dos *stakeholders* de um SoS sejam alinhados, e que o mesmo seja gerenciado de forma eficaz. O artigo apresenta ainda os resultados de uma pesquisa de opinião realizada com profissionais de uma instituição pública brasileira que implementou um SoS, e identificou os seguintes fatores como críticos para o sucesso da implementação de Governança de SoS: (i) comunicação e colaboração entre os stakeholders: é fundamental que os *stakeholders* de um SoS se comuniquem e colaborem de forma eficaz para garantir o alinhamento de objetivos e interesses, (ii) estrutura organizacional: a estrutura organizacional deve ser adequada para o gerenciamento de um SoS, (iii) políticas e procedimentos: sua definição clara e concisa é essencial para garantir a Governança de SoS, (iv) recursos: pessoal, tecnologia e orçamento são necessários para a implementação de Governança de SoS. Por fim, o artigo conclui que os fatores identificados são relevantes para a Governança de SoS em outros contextos diferentes das instituições públicas, e que a estrutura organizacional, as políticas e procedimentos são fatores importantes para a Governança de SoS. Por fim, destaca a importância de considerar os fatores de governança em todas as fases do desenvolvimento de um SoS.

3. Protocolo do Mapeamento Sistemático

O protocolo do estudo definido neste artigo foi baseado em cinco etapas (Felizardo et al., 2017; Kitchenham et al., 2007; Petersen et al., 2015): definição das informações gerais, das questões de pesquisa, identificação, seleção e avaliação de estudos relevantes, extração e síntese de dados, e apresentação de resultados. A Figura 1 ilustra as etapas do macroprocesso e estão descritas nas próximas subseções.

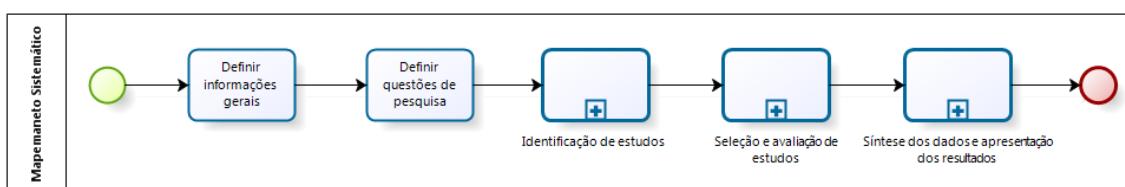


Figura 1. Macroprocesso de Mapeamento Sistemático

3.1. Informações Gerais Sobre o Mapeamento

As informações gerais do mapeamento estão descritas na Tabela 1, que apresenta o título, pesquisadores, descrição e objetivo do protocolo utilizado.

Tabela 1. Informações Gerais

⁴ <https://www.cia.gov/the-world-factbook/>

Título:	Governança de Sistemas-de-Sistemas: Um Mapeamento Sistemático da Literatura
Pesquisadores:	Edison Andrade Martins Moraes, Eliomar Araújo de Lima, Valdemar Vicente Graciano Neto
Descrição:	Devido à natureza das áreas de Governança e SoS, e da interação inerente entre ambas, pressupõe-se que existam benefícios advindos da aplicação dos princípios de Governança na área de SoS.
Objetivo:	Apresentar um estudo secundário na forma de um mapeamento sistemático, que visa identificar e analisar estudos primários que evidenciem a utilização dos princípios de governança na área SoS e como isso ocorre na prática, com objetivo principal de (i) entender o que é a governança no contexto de SoS, (ii) como a governança é usada neste contexto e (iii) como avaliar esta utilização.

3.2. Questões de Pesquisa

Considerando que as questões de pesquisa guiam a condução do mapeamento, as atividades de busca, seleção e extração de dados, que influenciam diretamente na atividade de análise e sumarização dos dados extraídos a partir dos estudos selecionados, o principal objetivo deste mapeamento sistemático, que é mostrar como os princípios de Governança são aplicados à área de SoS, e as variáveis definidas na Tabela 2, por meio do método PICO (População, Intervenção, Comparação e Resultados), definido em Pai (et al., 2004), cuja população (se refere ao grupo de indivíduos ou sistemas sobre os quais a pesquisa será realizada) considerada foi a área de SoS, e a intervenção (fator ou tratamento que está sendo estudado) é a governança, as seguintes questões de pesquisa (QP) foram propostas:

Tabela 2. Variáveis usadas na definição das questões de pesquisa

População:	Sistemas-de-Sistemas
Intervenção:	Governança

QP1. O que é a governança no contexto de SoS?

Justificativa: Considerando que no contexto dos SoS a governança tem objetivo de garantir que os sistemas individuais funcionem de forma harmoniosa e eficaz em conjunto, e que este objetivo é diferente da visão tradicional da governança, responder a esta questão irá ajudar a determinar se existem pesquisas relacionadas à utilização dos princípios de governança na área de SoS.

QP2. Como os princípios de governança têm sido usados no contexto de SoS?

Justificativa: Ao responder a essa questão de pesquisa, pretende-se determinar como os princípios de governança são utilizados de forma concreta na área de SoS.

Também pretende-se verificar se as propostas de utilização destes princípios não ocorrem apenas no campo teórico, por meio de propostas que nunca foram utilizadas ou avaliadas, e se existem, de fato, casos reais de utilização.

QP3. Como avaliar o uso da governança em SoS, e quais são as métricas usadas na avaliação?

Justificativa: Ao responder essa questão de pesquisa, pretende-se verificar quais são as métricas, modelos e normas utilizadas na avaliação do uso dos princípios de governança na área de SoS.

Em estudo conduzido por Kudo (et al., 2019), há a definição de questões de pesquisa semelhantes, porém no contexto da Engenharia de Software, com objetivo de identificar propostas de uso de Padrões de Requisitos (Withall, 2007), e avaliar qual o seu impacto nas demais fases do ciclo de vida de desenvolvimento software, além da própria etapa de engenharia de requisitos. A identificação de questões semelhantes em outro estudo mostra que abordagem semelhante já foi utilizada. Logo, não se trata de uma proposta de questões de pesquisa, diferente de qualquer outra já criada, mas sim o reúso de uma estrutura já validada por pares em outro estudo anterior, justificando a estruturação das questões de pesquisa neste formato.

3.3. Identificação de Estudos

O processo utilizado para identificação de estudos foi baseado em cinco atividades: definir palavras-chave, criar *strings* de busca, definir critérios de seleção das fontes de busca, listar as fontes de busca e definir a estratégia de busca, que podem ser visualizadas na Figura 2.

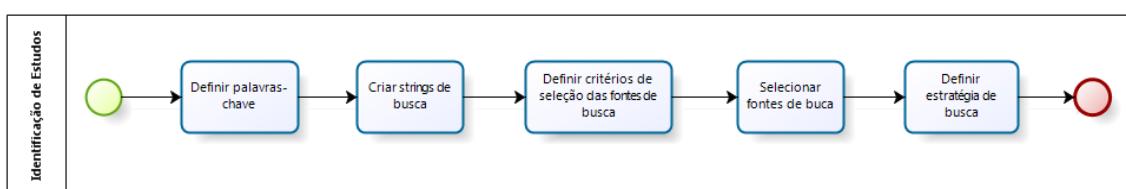


Figura 2. Processo de Identificação dos Estudos

A definição das palavras-chave e seus sinônimos foi realizada a partir da leitura de referências na área (Maier, 1998; Nielsen et al., 2015; Rossetti et al., 2014), e colaboração de especialistas, ouvidos por meio de entrevistas realizadas de forma presencial. Foram selecionadas aquelas que melhor caracterizavam o tema, e permitiriam uma busca eficaz dos estudos relacionados. Como resultado dessa análise, o seguinte conjunto de palavras-chave, em inglês, foi definido: *governance*, *compliance*, *systems-of-systems*, *system-of-systems*, *systems of systems* e *system of systems*. Visando alcançar o maior nível de abrangência e relevância de resultados, foi definida a seguinte *string* de busca, onde as palavras-chave foram conectadas por operadores lógicos (AND e OR):

("*governance*" OR "*compliance*")

AND

("systems-of-systems" OR "system-of-systems" OR "systems of systems" OR "system of systems")

Em seguida, foram selecionadas as seguintes fontes de pesquisa: *ACM Digital Library* (expandida para *ACM Guide to Computing Literature*), *IEEE Xplore*, *Scopus*, *Engineering Village*, *Web Of Science* e *Google Scholar*. A escolha destas bases se justifica pela relevância, reputação e representatividade das mesmas na área de computação como um todo, para a área de Governança, SoS, e para associação entre elas. Também foram consideradas fontes com mecanismo de busca disponível na Internet, com suporte a expressões booleanas, que possibilitam busca sobre metadados, e no mínimo, sobre o resumo/*abstract*, que exportam resultados de busca para múltiplos formatos, com acesso disponível pelas principais ferramentas de apoio a mapeamentos sistemáticos. Finalmente, foi definida a estratégia de busca, em que, para cada base científica, foi criada uma *string* de pesquisa adaptada a partir da *string* genérica definida nesta seção, uma vez que a sintaxe pode variar de acordo com a fonte. A busca realizada foi automática, sem filtro temporal e aplicada aos metadados (título, resumo e palavras-chave). A Tabela 3 apresenta a sintaxe adaptada para cada uma das fontes e a quantidade de estudos retornados, por fonte e total (804), nas buscas, realizadas em 16/02/2023.

Tabela 3. String de Busca por Fonte de Pesquisa

Fonte	String de Busca	Quantidade de Estudos Retornados
<i>ACM Digital Library (The ACM Guide to Computing Literature)</i>	[[Abstract: "governance"] OR [Abstract: "compliance"]] AND [[Abstract: "systems-of-systems"] OR [Abstract: "system-of-systems"] OR [Abstract: "systems of systems"] OR [Abstract: "system of systems"]]	42
	[[Title: "governance"] OR [Title: "compliance"]] AND [[Title: "systems-of-systems"] OR [Title: "system-of-systems"] OR [Title: "systems of systems"] OR [Title: "system of systems"]]	
<i>IEEE Xplore</i>	(("All Metadata":governance OR "All Metadata":compliance) AND ("All Metadata":systems-of-systems OR "All Metadata":system-of-systems OR "All Metadata":systems of systems" OR "All Metadata":system of systems))	116
<i>Scopus</i>	TITLE-ABS-KEY (("governance" OR "compliance") AND ("systems-of-systems" OR "system-of-systems" OR "systems of systems" OR "system of systems"))	246

<i>Engineering Village</i>	((("governance" OR "compliance") AND ("systems-of-systems" OR "system-of-systems" OR "systems of systems" OR "system of systems")) WN KY)	193
<i>Web Of Science</i>	TS=((("governance" OR "compliance") AND ("systems-of-systems" OR "system-of-systems" OR "systems of systems" OR "system of systems")) *TS: título, resumo, as palavras-chave.	147
<i>Google Scholar</i>	("governance" OR "compliance") AND ("systems-of-systems" OR "system-of-systems" OR "systems of systems" OR "system of systems")	17400* *60 primeiros considerados
Total:		804

A pesquisa na fonte ACM Digital Library foi feita em duas etapas, uma vez que a ferramenta não permitia a aplicação da busca no abstract e título do documento utilizando a mesma string. Já para a fonte Google Scholar foram considerados apenas os primeiros 60 resultados, uma vez que a ferramenta retornou 17400 estudos, quantidade considerada excessiva. A escolha pelos 60 primeiros se justificou pelo fato de que foi observado que, a partir desta posição, os estudos já não apresentavam mais relação efetiva com o assunto. Porém, considerando que mesmo assim a utilização desta fonte, e da quantidade de resultados considerados, poderia ser alvo de questionamentos, uma vez que utiliza uma máquina de busca padrão baseada no google, que passa por constante atualização, de maneira que a replicação da busca poderia ficar prejudicada, a sua inclusão se justifica por dois fatores principais: (i) foram encontrados outros 5 estudos que foram aceitos, e não estavam em outras bases de dados. (ii) foram encontrados outros estudos primários (Vanhala et al., 2022), secundários (Axelsson, 2015) e terciários (Yasin et al., 2020) que também fizeram uso dessa fonte para obtenção de seus resultados, demonstrando que sua utilização também pode ser considerada importante, em alguns casos, para os resultados de mapeamentos sistemáticos.

Yasin et al. (2020), por exemplo, apresentam um estudo terciário⁵ que investiga a eficácia do Google Scholar como ferramenta para a recuperação de estudos primários em revisões sistemáticas da literatura em engenharia de software. Os resultados demonstram a importância desta ferramenta como um recurso que tende a ser valioso para pesquisadores que realizam este tipo de mapeamento, uma vez que foi capaz de recuperar 96% (132 de 138 analisados) dos estudos primários utilizados nos estudos secundários analisados, sendo que a maior parte dos estudos que não foram encontrados na máquina de busca eram Literatura Cinza (Mahood et al. 2014). O estudo cita ainda os seguintes benefícios da utilização do Google Scholar: (i) abrangência: permite que os pesquisadores encontrem estudos publicados em diversas fontes, incluindo periódicos acadêmicos, conferências, repositórios institucionais e sites pessoais, (ii) eficiência: é uma ferramenta fácil de usar e permite que os pesquisadores encontrem rapidamente estudos relevantes,

⁵ É uma revisão cujos estudos considerados são secundários (revisões ou mapeamentos sistemáticos) (Kitchenham et al., 2007).

(iii) inclusão da Literatura Cinza: em casos que este tipo de estudo é considerado, trata-se de uma ferramenta eficaz na sua recuperação, o que é importante para obter uma visão mais completa das pesquisas realizadas na área. Entretanto, o estudo enfatiza que esta ferramenta deve ser utilizada sempre em conjunto com outras ferramentas de busca em bases de dados especializadas, para garantir a recuperação do máximo de estudos relevantes que devem ser considerados em revisões sistemáticas da literatura.

Finalmente, o resultado da aplicação das *strings* de busca resultou na seleção de um total de 804 estudos que, na sequência, foram submetidos à etapa de seleção e avaliação, descrita a seguir.

3.4. Seleção e Avaliação dos Estudos

No processo de seleção de avaliação dos estudos foram definidas três atividades: definição dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos; da estratégia de seleção; avaliação de qualidade, que podem ser visualizadas na Figura 3.

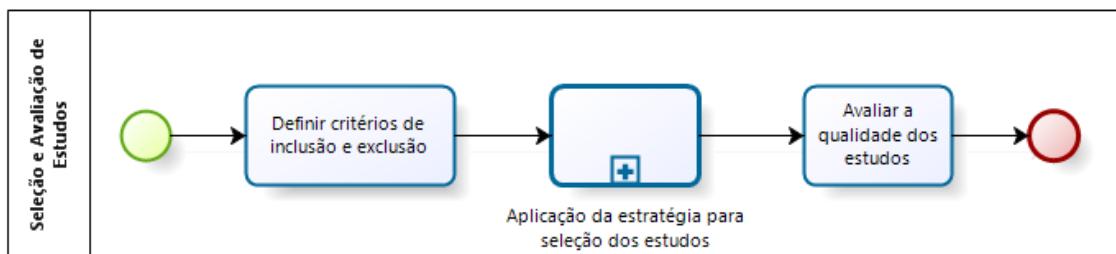


Figura 3. Processo de Seleção e Avaliação dos Estudos

Na etapa de definição dos Critérios de Inclusão (CI) e Exclusão (CE) dos estudos, foram definidos os critérios utilizados para incluir os estudos relevantes e descartar os não relevantes. Estes critérios foram definidos pelos autores dos artigos, com base em sua experiência na condução de mapeamentos semelhantes. Visando principalmente evitar o viés dos pesquisadores, e melhorar a qualidade dos estudos selecionados, outros mapeamentos serviram como referência para definição dos critérios, como Kudo (et al., 2019), por exemplo. A Tabela 4 lista os critérios de inclusão, e a Tabela 5 os de exclusão.

Tabela 4. Critérios para Inclusão dos Estudos

Critério	Descrição
CI1	É um estudo primário relacionado à Governança de SoS.

Tabela 5. Critérios para Exclusão dos Estudos

Critério	Descrição
CE1	Não é um estudo primário.

CE2	Não é um estudo publicado em anais de eventos ou periódicos (não foi submetido a revisão por pares, ou seja, literatura cinza).
CE3	Não está relacionado à aplicação dos princípios ⁶ de Governança em SoS.
CE4	O texto completo não está em inglês.
CE5	Texto completo não está disponível para acesso.
CE6	É uma versão preliminar ou reduzida de outro estudo já incluído.
CE7	Está relacionado apenas à Governança.
CE8	Está relacionado apenas a SoS.

Após a aplicação da string de busca nas bases selecionadas, foi definida uma estratégia de seleção dos estudos com as seguintes atividades: identificação e remoção de estudos duplicados; aplicação dos critérios de inclusão e exclusão a partir da leitura do título, resumo e palavras-chave de cada estudo não-duplicado; aplicação dos critérios de inclusão e exclusão a partir da leitura do texto completo de cada estudo restante do passo anterior; extração e síntese dos dados. Em ambas as etapas a identificação das palavras-chave a partir do título, resumo ou palavras-chave, em seguida no texto completo, foi contemplada considerando as critérios de inclusão e exclusão, especialmente CI1, CE3, CE7 e CE8, que exigiram um entendimento ainda mais aprofundado dos estudos selecionados para sua aplicação. A ferramenta Microsoft Excel foi utilizada como apoio à aplicação da estratégia de mapeamento, ilustrada na Figura 4, que mostra a quantidade de estudos duplicados, rejeitados, e o número de estudos resultantes após cada atividade.

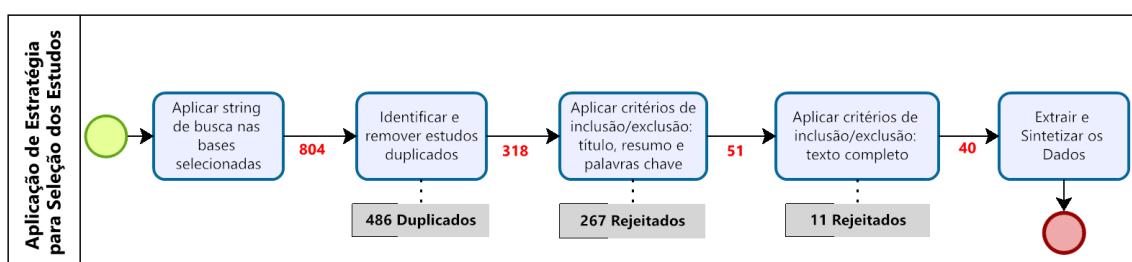


Figura 4. Estratégia para Seleção dos Estudos

A aplicação da *string* de buscas identificou 804 estudos, sendo 486 duplicados. Os 318 restantes foram então submetidos aos critérios de inclusão e exclusão a partir da leitura do título, resumo e palavras-chave, que resultou na seleção de 51 estudos que foram lidos na íntegra. O detalhamento da quantidade de estudos excluídos nesta etapa,

⁶ Princípios de Governança em SoS são as diretrizes que orientam a gestão e o controle desse tipo de sistema complexo. Eles visam assegurar a coordenação, a colaboração e a tomada de decisão eficaz entre os diferentes sistemas constituintes e stakeholders envolvidos.

quantificados por critério de exclusão (Tabela 5) e base, está representado na Tabela 6. Já o quantitativo de estudos encontrados, duplicados, analisados, rejeitados e aceitos, também classificados por base, pode ser visualizado na Tabela 7.

Tabela 6. Detalhamento do Quantitativo de Exclusões por Base

Critério/ Base	ACM Digital Library	IEEE Xplore	Scopus	Engineeri ng Village	Web Of Science	Google Scholar	Total Excluído	%
CE1	3	0	2	3	0	0	8	3,00
CE2	0	4	23	0	0	4	31	11,61
CE3	26	48	80	13	6	3	176	65,92
CE4	0	0	0	0	0	0	0	0,00
CE5	0	0	0	0	0	0	0	0,00
CE6	0	0	0	0	0	0	0	0,00
CE7	0	6	9	0	0	0	15	5,62
CE8	0	19	7	0	0	11	37	13,86
	29	77	121	16	6	18	267	

A maior parte dos estudos (176) foi excluído pelo critério três (C3), pois não estavam relacionados à aplicação dos princípios de Governança de SoS, seguidos pelos critérios oito (37), dois (31), sete (15) e um (8). Não houve artigos excluídos pelos critérios quatro, cinco e seis. Não foram levantadas hipóteses ou realizados estudos mais aprofundados sobre a inclusão ou não de estudos considerando os critérios de inclusão e exclusão. Poderia haver suposição, por exemplo, que CI1 seria redundante em relação a CE1, CE3, CE7 e CE8, porém houve entendimento que todos os critérios definidos foram importantes e complementares, de maneira que os estudos selecionados fossem apenas aqueles realmente relacionados aos assuntos.

Tabela 7. Quantitativo de estudos encontrados, duplicados, analisados, rejeitados e aceitos por Critério/Base

Base	Encontrados	Duplicados	Analizados	Rejeitados	Incluídos	%
ACM Digital Library	42	0	42	29	13	25,49
IEEE Xplore	116	23	93	77	16	31,37
Scopus	246	108	138	121	17	33,33
Engineering Village	193	177	16	16	0	0,00
Web Of Science	147	141	6	6	0	0,00
Google Scholar	60	37	23	18	5	9,80
	804	486	318	267	51	

Todos os estudos incluídos pertenciam às bases ACM Digital Library (The ACM Guide to Computing Literature), IEEE Xplore, Scopus e Google Scholar. As bases Engineering Village e Web Of Science não contribuíram para o conjunto selecionado, pois os estudos relacionados ao tema encontrados nestas bases estavam duplicados. A base ACM Digital Library não teve duplicados porque foi a primeira base a ser analisada, porém dos 42 estudos retornados (ou seja, as replicações aconteciam com base nos estudos já incluídos a partir dela), 38 (90,47%) também foram encontrados em outras bases após sua análise, sendo que em alguns casos em mais de uma. Dos 51 estudos incluídos, 46 estavam presentes em mais de uma base, sendo que alguns foram encontrados em todas as bases. Já os cinco incluídos na base Google Scholar não foram encontrados em outras bases. Os estudos resultantes foram então submetidos à leitura de seu texto completo, e novamente foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão, o que resultou na eliminação de mais 11 estudos.

Um estudo foi excluído pelo critério CE1, pois se tratava de um estudo secundário na forma de revisão sistemática. Entretanto, por se tratar de um estudo relevante, o estudo foi incluído como trabalho relacionado e seus resultados foram mencionados na seção correspondente. Dois estudos foram excluídos pelo critério dois, pois se tratavam de literatura cinzenta, sendo um deles o capítulo de um livro e o outro uma publicação de governança de SoS de um órgão do governo americano. Outros oito estudos foram excluídos pelo critério três, pois todos eram sobre governança de sistemas complexos, que neste mapeamento não foi considerado como sinônimo de SoS, apesar deste ser considerado um tipo de sistema complexo. Os 40 estudos devidamente incluídos estão listados e identificados na Tabela 8.

Tabela 8. Estudos Incluídos

Id	Estudo
A01	A criteria-based framework for establishing system of systems governance (Vaneman et al., 2013).
A02	A Framework for Development Process Design and its use for Establishing Intellectual Property Governance: Introduction of the PROVE framework using a case study (Shaked et al., 2018).
A03	A Framework for Optimizing Effort in Testing of System of Systems (Bera et al., 2012).
A04	A Governance Model for Local and Interconnecting Arrowhead Clouds (Hegedűs et al., 2020).
A05	A governance perspective for system-of-systems (Katina et al., 2019).
A06	A proposal for system of systems organization and governance: application to a Depollution Network (Chebbi et al., 2023).
A07	A Requirements Monitoring Infrastructure for Very-Large-Scale Software Systems (Vierhauser et al., 2014).
A08	A Semantically-Enriched Quality Governance Framework for Systems of Systems applied to Cancer Care (Qaddoumi et al., 2018).
A09	A systemic approach to governance in extended enterprise systems (Mansouri et al.,

	2010b).
A10	A systems approach to governance in Maritime Transportation System of Systems (Mansouri et al., 2009).
A11	A systems-of-systems security framework for requirements definition in cloud environment (Sara et al., 2019a).
A12	Abandonment: A natural consequence of autonomy and belonging in systems-of-systems (Salado, 2015).
A13	A Smart City transportation System of Systems Governance Framework: A Case Study of Singapore (Ling et al., 2019).
A14	AGSOA - Agile Governance for Service Oriented Architecture (SOA) Systems: A Methodology to Deliver 21st Century Military Net-Centric Systems of Systems (Sloane et al., 2008).
A15	Aligning analysis and engineering decision-making within a military distributed system of systems (Rudolph et al., 2012).
A16	An initial perspective on governing a system of systems (Lyneis et al., 2009).
A17	Challenges in providing sustainable analytic of system of systems with long life time (Hallmans et al., 2021).
A18	Competencies for governance of complex systems of systems (Bradley et al., 2015).
A19	Coupling quantitative vulnerability assessment and complex system governance for systems of systems (Lyneis et al., 2012).
A20	Data governance for SoS (Buijs et al., 2012).
A21	DATASEM: A simulation suite for SoSE management research (Turner et al., 2016).
A22	Distributed Project Governance Assessment (DPGA): Contextual, hands-on analysis for project governance across sovereign boundaries (Anderson et al., 2009).
A23	Evaluating Australia's most complex system-of-systems, the future submarine: A case for using new Complex Systems Governance (Bradley et al., 2017).
A24	Governance and Autonomy: Towards a Governance-based Analysis of Autonomy in Cyber-Physical Systems-of-Systems (Gharib et al., 2020).
A25	Governance implications for meeting challenges in the system of systems engineering field. C. B. Keating (Keating, 2014).
A26	Governance in systems of systems: A systems-based model (Calida et al., 2016).
A27	Governance mechanism pillars for systems of systems (Darabi et al., 2012).
A28	Governance of collaborative system of systems (Norman et al., 2007).
A29	Identifying Governance Best Practices in Systems-of-Systems Acquisition (Berteau et al., 2011).
A30	Implementing a methodology for governing SOSE analysis (Buijs et al., 2015).
A31	Major challenges of systems-of-systems with cloud and DevOps: a financial experience report (Sara et al., 2019b).
A32	On the verification of mission-related properties in software-intensive systems-of-systems architectural design (Silva et al., 2020).
A33	OntoSoS.QM.Gov: A Quality Governance Framework for Systems of Systems (Qaddoumi et al., 2017).
A34	Survey on Trust in Software Engineering for Autonomous Dynamic Ecosystems (Buhnova et al., 2023).

A35	System and software assurance — Rationalizing governance, engineering practice, and engineering economics (Croll, 2014).
A36	System of systems approach to maritime transportation governance (Mansouri et al., 2010a).
A37	System of systems engineering and enterprise architecture: Implications for governance of complex systems (Walters et al., 2014).
A38	The impact of governance approaches on SoS environments (Boxer et al., 2011).
A39	Toward Systemic Governance of Cancer Treatment as a System of Systems (Gorod et al., 2018).
A40	Towards a governance dashboard for smart cities initiatives: a system of systems approach (Payne et al., 2020).

Uma vez selecionados os estudos, as próximas etapas envolveram o processo de extração, síntese dos dados e apresentação dos resultados, onde foram definidas três atividades: estratégia de extração, sumarização e publicação dos dados, que podem ser visualizadas na Figura 5.

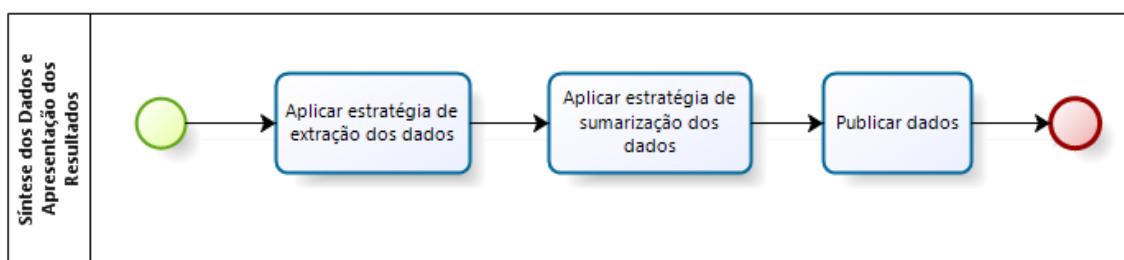


Figura 5. Estratégia para Extração, Síntese dos Dados e Apresentação dos Resultados

Na etapa de aplicação da estratégia de extração dos dados, foi definida a forma pela qual as informações de cada estudo seriam extraídas e quais dados de extração, na aplicação das estratégias de sumarização dos dados, foi definida a forma de sumarização e o tipo de análise a ser realizada, na etapa de publicação, foi definida a forma pela qual os dados seriam disponibilizados aos interessados. A Seção 4 apresenta os detalhes destas atividades.

4. Extração e Síntese dos Dados

O processo de extração dos dados foi baseado na leitura completa dos 40 estudos considerados relevantes (A01 a A40) para este mapeamento. Sob o ponto de vista metodológico, o processo de extração (que pode ocorrer em paralelo à atividade de seleção) é uma atividade na qual são obtidos dados a partir da leitura completa dos estudos primários incluídos na atividade de seleção, cujo objetivo é registrar, de maneira precisa, os dados necessários para responder às questões de pesquisa estabelecidas (Felizardo et al., 2017, apud Kitchenham et al., 2007). Os primeiros dados coletados foram os metadados (título, autores, ano de publicação, etc.), necessários para identificação de cada estudo e posterior gerenciamento da extração, seguido dos dados considerados relevantes para responder às questões de pesquisa. Em alguns casos, dados considerados relevantes

para esta resposta podem não estavam presentes ou apareceram de forma pouco detalhada nos estudos analisados, de forma que pesquisas complementares (relatórios técnicos, dissertações, testes, página web, etc.) relacionadas ao estudo foram realizadas. Visando então a extração, para posterior síntese dos dados a respeito dos estudos, primeiramente estes foram quantificados conforme o ano de publicação, visualizado na Figura 6.

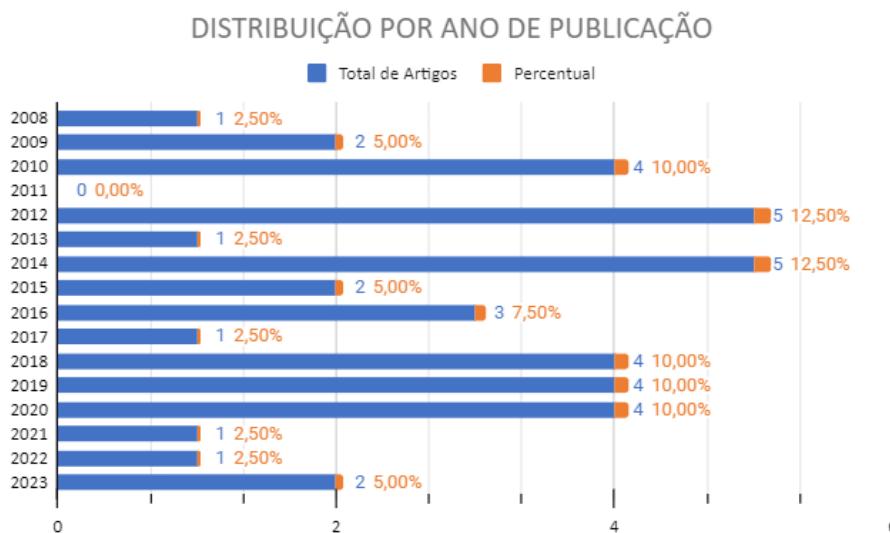


Figura 6. Distribuição de Estudos por Ano de Publicação.

Em relação à distribuição por ano de publicação, é possível observar que os estudos relacionados ao assunto começaram a ser publicados em 2008, com picos de publicações nos anos de 2012 e 2014, e retração em 2021 e 2022. O pico de interesse no tópico aconteceu então na última década, com cinco estudos sendo publicados em 2012 e 2014. Observa-se ainda que nos últimos anos houve um número anual de publicações próximo ao pico de interesse, especialmente entre 2018 e 2020, com 12 publicações, sendo 3 ao ano. Também é importante ressaltar que em 2023 houve a publicação de dois estudos, o que demonstra um interesse ainda latente por parte da comunidade de SoS em investigar o assunto, apesar da aparente retração ocorrida nos anos de 2021 e 2022. Não foram levantadas hipóteses, entretanto, sobre os motivos pelos quais essa retração ocorreu.

Em seguida, os estudos foram classificados conforme o tipo de veículo de publicação, sendo consideradas as publicações em periódicos, conferências ou simpósios e *workshops*. Essa distribuição pode ser visualizada na Figura 7.

DISTRIBUIÇÃO POR TIPO DE VEÍCULO DE PUBLICAÇÃO

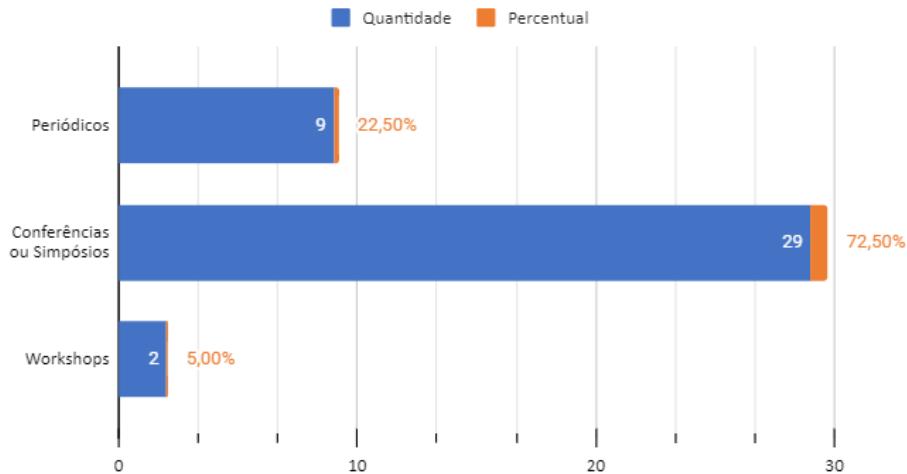


Figura 7. Distribuição de Estudos por Tipo de Veículo de Publicação

Em relação à distribuição por tipo de veículo, o maior volume de publicações ocorreu em conferências ou simpósios, seguido por periódicos e workshops. Essa distribuição mostrou um quantitativo menor de publicações em periódicos, o que pode ser analisado de forma crítica quanto a qualidade das publicações, uma vez que os periódicos geralmente têm um processo de revisão mais rigoroso em relação a outros veículos. Porém, também não significa que as publicações em conferências e workshops não tenham a mesma qualidade quando comparadas às publicações em periódicos. Observa-se ainda que a maioria das publicações entre os estudos incluídos aconteceu em conferências, o que leva a conjecturar que ainda não existam muitas pesquisas devidamente avançadas a ponto de serem publicadas em periódicos, evidenciando que ainda há oportunidades de investigação. Entretanto, pondera-se o grau de rigor na seleção de artigos nas conferências da área da computação, demonstrando que ainda assim há muitos resultados relevantes na área. Na sequência os estudos foram distribuídos pelo nome do veículo de comunicação, visualizado na Figura 8.

DISTRIBUIÇÃO POR VEÍCULO DE PUBLICAÇÃO

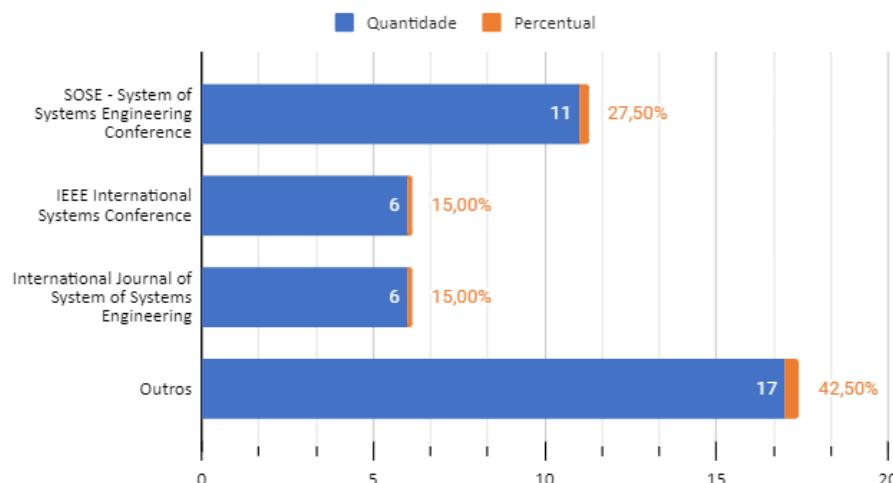


Figura 8. Distribuição de Estudos por Veículo de Publicação

Na distribuição por veículo de publicação, foi possível observar que a maioria dos estudos (11) foi publicado na conferência SOSE⁷ (*System of Systems Engineering Conference*), que é uma conferência internacional sobre os avanços na área de Engenharia de SoS (SoSE). É organizada anualmente pela IEEE Systems Engineering Society e pode ser considerada uma das mais importantes na área. Outros seis estudos foram publicados na ISC⁸ (*International Systems Conference*), também organizada pela IEEE, que também é considerada relevante, e se trata de uma conferência internacional que reúne pesquisadores e profissionais de sistemas de todo o mundo para compartilhar suas pesquisas e experiências sobre sistemas complexos. No periódico IJSSEL⁹ (*International Journal of System of Systems Engineering*) também foram publicados seis estudos. Trata-se de um periódico revisado por pares que publica pesquisas originais sobre SoS. É publicado pela editora *Springer Nature*, considerada uma das principais revistas no campo de SOSE. Os outros 17 estudos foram publicados em veículos diferentes, tanto da área de SoS quanto de outras áreas, como engenharia de software ou informática aplicada à medicina, por exemplo, conforme detalhado na Tabela 9, a seguir:

Tabela 9. Publicações em Outros Veículos de Comunicação

Id	Veículo	URL
A03	International Conference on Services in Emerging Markets (EMC)	https://www.emergingmarketsconference.org/
A04	Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	https://www.iecon-2024.org/
A05	Advances in Systems Science and Applications (ASSA)	https://ijassa.ipu.ru/index.php/ijassa
A07	International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality (REFSQ)	https://2024.refsq.org/
A08	International Conference on Cancer Care Informatics (CCI 2018)	https://cancercareinformatics.org/cci/
A11	European Conference on Software Architecture (ECSA)	https://conf.researchr.org/home/eCSA-2024
A16	International Conference of the American Society for Engineering Management (ASEM)	https://asem.org/Conference
A17	International Council on Systems Engineering (INCOSE)	https://www.incose.org/symp2024/
A22	Workshop on Software Development Governance (ICSE)	https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/5061473/proceeding

⁷ <https://sosengineering.org/2024/>

⁸ <https://isc2024.org/>

⁹ <https://www.inderscience.com/jhome.php?jcode=ijssse>

A23	International Council on Systems Engineering (INCOSE)	https://www.incose.org/symp2024/
A29	Annual Acquisition Research Symposium Proceedings & Presentations	https://dair.nps.edu/handle/123456789/15
A30	International Conference of the American Society for Engineering Management (ASEM)	https://asem.org/Conference
A31	International Conference of the American Society for Engineering Management (ASEM)	https://asem.org/Conference
A32	Science of Computer Programming	https://www.sciencedirect.com/journal/science-of-computer-programming
A33	Complex Systems Design & Management (CSD&M)	https://cesam.community/csdm-2024/
A34	Symposium On Applied Computing (SIGAPP)	https://www.sigapp.org/sac/sac2024/
A36	Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (TRR)	https://journals.sagepub.com/home/trr

Em seguida, os estudos foram classificados conforme o tipo de pesquisa de avaliação e validação, de acordo com taxonomia proposta em Felizardo et al. (2017, p. 107, apud Petersen et al., 2015), que pode ser visualizado na Figura 9, e demonstra que há predominância de estudos do tipo proposta de solução (13) e artigos de opinião (12). O restante dos estudos ficou dividido entre avaliação (5), validação (3), relatos de experiência (6) e um artigo filosófico. Propostas de solução são estudos que discutem novas soluções ou revisões de soluções, artigos de opinião envolvem estudos que apresentam a opinião de um ou mais pesquisadores sobre um determinado tópico de pesquisa, relatos de experiência discutem como algo foi feito na prática e artigos filosóficos são estudos que estruturam um campo de conhecimento de uma nova maneira (Felizardo et al., 2017).

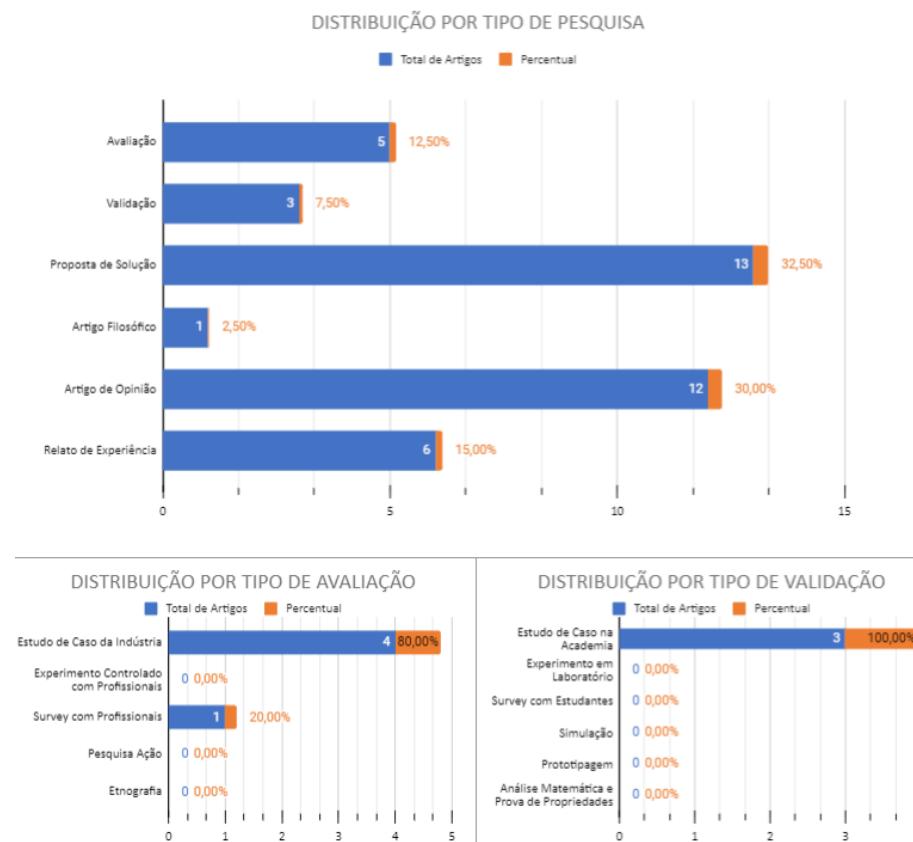


Figura 9. Distribuição de Estudos por Tipo de Pesquisa, Tipo de Avaliação e Tipo de Validação

Já as avaliações e validações foram, em sua maioria, estudos em caso (ou indústria ou academia), exceto uma avaliação do tipo *Survey*. Pesquisas de avaliação referem-se a estudos que avaliam soluções da indústria, enquanto validação são estudos que validam novas soluções, ainda não implantadas na indústria. A distribuição detalhada dos estudos por tipo de pesquisa, conforme taxonomia de Felizardo (et al., 2017) pode ser visualizada na Tabela 10.

Tabela 10. Tipo/Método de Pesquisa dos Estudos Relevantes

Tipo de Pesquisa		Estudos	Total	%
Avaliação	Estudo de caso da indústria	A03, A06, A13, A14	5	12,5%
	Survey com Profissionais	A34		
Validação	Estudo de caso na academia	A02, A07, A32	3	7,5%
Proposta de Solução		A01, A04, A05, A08, A09, A11, A15, A19, A23, A24, A26, A27, A33	13	32,50%

Artigo Filosófico	A12	1	2,5%
Artigo de Opinião	A16, A18, A20, A22, A25, A28, A29, A35, A36, A37, A38, A39	12	30%
Relato de Experiência	A10, A17, A21, A30, A31, A40	6	15%
	Total:	40	100%

A classificação por método e tipo de pesquisa devem ser consistentes, principalmente no que diz respeito a diferenciação entre pesquisas de avaliação e validação (Felizardo et al., 2017). Pesquisa ação e etnografia, por exemplo, são do tipo avaliação, já prototipagem, simulação e análise e prova matemática são validações. Alguns métodos, entretanto, podem estar relacionados a ambos os tipos, como experimentos, surveys e estudos de caso que, quando realizados com estudantes, são do tipo validação, quando por profissionais, são avaliação. Finalmente, com objetivo de responder às questões de pesquisa propostas na Seção 3.2, os seguintes dados foram extraídos dos estudos: resumo/objetivo do artigo; como ocorre a Governança de SoS; se há uso prático da governança e, caso positivo, como é feito; conclusão do artigo.

Uma vez extraídos, os dados foram analisados e sintetizados, com o objetivo de responder às questões de pesquisa deste estudo. De acordo com Felizardo (et al., 2017), a atividade de síntese é essencial e tem como principal objetivo combinar os dados extraídos a partir dos estudos primários considerados. Pode ser realizada por diferentes métodos (meta-análise, síntese narrativa, temática ou comparativa qualitativa), detalhados na Tabela 11, cuja escolha deve ser pautada pelas características do mapeamento sistemático a ser realizado, como o tipo de estudo primário, os tipos de dados extraídos ou quantidade de estudos disponíveis, por exemplo. Antes da escolha do método é importante determinar também a natureza dos dados que serão coletados. De forma geral, os dados podem ser classificados como quantitativos ou qualitativos. Dados quantitativos são numéricos, permitindo análises estatísticas e comparações quantitativas entre os estudos. Números de participantes, porcentagens, médias, desvios padrão, resultados de testes estatísticos, são exemplos. Já os dados qualitativos são descritivos, expressos em palavras, e se referem a experiências, percepções, opiniões e significados. Transcrições de entrevistas, observações de campo, documentos textuais podem ser usados como exemplos. Devido ao assunto e a natureza dos estudos selecionados, foi utilizado o método de síntese narrativa qualitativa neste mapeamento, por meio da organização e a interpretação dos dados dos estudos primários de forma textual, utilizando tabelas e figuras para ilustrar os resultados.

Tabela 11. Análise do Resumo/Objetivo

Método de Síntese	Natureza dos Dados	Objetivo	Processo

Meta-análise	Quantitativos	Combinar os resultados estatísticos de múltiplos estudos para obter uma estimativa mais precisa e confiável do efeito de uma intervenção ou relação entre variáveis.	Envolve cálculos estatísticos para combinar os tamanhos de efeito dos diferentes estudos.
Síntese narrativa	Quantitativos Qualitativos	Apresentar um resumo narrativo dos resultados dos estudos, destacando os principais achados, divergências e lacunas na literatura.	Descrever as diferentes abordagens utilizadas para avaliar a qualidade de software em diferentes contextos.
Síntese temática	Quantitativos Qualitativos	Identificar temas ou padrões comuns nos dados, construindo categorias e subcategorias para organizar a informação.	Envolve a codificação dos dados, a identificação de temas recorrentes e a construção de um esquema de categorização.
Síntese comparativa qualitativa	Qualitativos	Comparar e contrastar os resultados de diferentes estudos, identificando semelhanças, diferenças e padrões emergentes.	Envolve a comparação sistemática dos dados de diferentes estudos, utilizando matrizes ou tabelas para facilitar a análise.

O primeiro item analisado de cada estudo foi o seu resumo/objetivo. Foram observadas as seguintes tendências de agrupamentos: proposta de *framework* com, e sem estudo de caso; propostas de soluções sem avaliação ou estudo de caso; relatos de desafios, experiências e pesquisas. Os estudos e quantitativos de cada grupo são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Análise do Resumo/Objetivo

Resumo/Objetivo do Estudo	Estudos	Total	%
Proposta de modelo de governança de SoS (<i>framework</i>) com estudo de caso	A02, A03, A06, A08, A13, A14, A15, A26, A27, A33	10	25%
Proposta de modelo de Governança de SoS (<i>framework</i>) sem estudo de caso	A01, A11, A19, A40	4	10%
Descrições de soluções em governança de SoS sem avaliação ou estudo de caso	A04, A05, A09, A22, A23, A24	6	15%
Relatos de desafios, opiniões, experiências e pesquisas	A10, A12, A16, A17, A18, A20, A21, A25, A28, A29, A30, A31, A34, A35, A36, A37, A38, A39	18	45%
Modelos de verificação de requisitos de Governança de SoS sem estudo de caso.	A07, A32	2	5%
Total:		40	100%

Nas propostas de modelos de Governança de SoS com estudo de caso, foram apresentados diversos *frameworks*¹⁰, com aplicações em várias áreas. A02 apresenta um *framework* para o desenho de processos de desenvolvimento e sua utilização para estabelecer a governança de propriedade intelectual; A03 para otimizar o esforço de testes em SoS; A06 para organização e governança de SoS; A08 para a governança da qualidade de SoS; A13 para sistemas de transporte em uma cidade inteligente na cidade de Singapura; A14 para a governança de SoS baseado em Arquitetura Orientada a Serviço (SOA); A15 de Processo de SoSE para o comando de material da força aérea americana; A26 um modelo de governança de SoS baseado em sistemas; A27 para analisar os pilares de Governança de SoS; A33 de governança de qualidade para SoS.

Já nas propostas de modelos de Governança de SoS sem estudo de caso, também foram apresentados diferentes *frameworks*, porém sem avaliação do modelo. A01 apresenta um *framework* para estabelecer a governança de SoS baseado em um conjunto de critérios que são relevantes para a governança de SoS; A11 de segurança para SoS na

¹⁰ Um *framework* pode ser visto como um meio de fornecer orientação para o desenvolvimento de uma solução, o que pode ajudar a evitar erros comuns, ou seja, fornece a estrutura para orientar o desenvolvimento de uma solução.

definição de requisitos em ambientes de nuvem; A19 para a governança de SoS que combina avaliação quantitativa de vulnerabilidade e governança de sistemas complexos; A40 de governança para iniciativas de cidades inteligentes baseado em SoS.

Em relação às descrições de soluções em Governança de SoS sem avaliação ou estudo de caso, A04 aborda a questão da governança em sistemas de nuvem *Arrowhead*, que são compostos por múltiplas nuvens locais interconectadas; A05 apresenta os principais desafios da governança de SoS e propõe um modelo que visa ajudar a garantir que esses sistemas sejam governados de forma eficaz e eficiente. A09 discute a importância da governança para o sucesso dos sistemas corporativos; A22 aborda a questão da governança de projetos distribuídos, ou seja, projetos que envolvem equipes e recursos localizados em diferentes fronteiras soberanas (como em SoS); A23 apresenta a governança do *Future Submarine*, um SoS complexo australiano; A24 aborda a análise da autonomia em Sistemas Ciberfísicos¹¹ de Sistemas (CPSoS) com base em uma perspectiva de governança.

Nos relatos de desafios, opiniões, experiências e pesquisas, A10 apresenta a aplicação de uma abordagem de sistemas para definir o Sistema de Transporte Marítimo (MTS) como um SoS; A12 o conceito de abandono de sistema como uma necessidade filosófica na definição de SoS; A16 uma perspectiva inicial sobre a governança de SoS; A17 os desafios enfrentados ao fornecer análises sustentáveis para SoS que têm uma vida útil prolongada. A18 propõe um conjunto de competências necessárias para a governança de SoS; A20 os desafios da governança de dados em SoS; A21 o desenvolvimento de uma suíte de simulação chamada DATASEM, projetada para apoiar pesquisas em gestão de SoS; A25 as implicações da Governança de SoSE, visando enfrentar os desafios encontrados nessa área. A28 discute a governança de SoS colaborativos (CoSoS); A29 identifica as melhores práticas de governança na aquisição de SoS; A30 apresenta uma metodologia para governar a análise de SoSE; A31 descreve o relato de uma experiência financeira que aborda os desafios enfrentados na implementação de SoS com o uso de tecnologias em nuvem e práticas de DevOps¹². A34 apresenta um resumo da pesquisa sobre confiança na engenharia de software para ecossistemas dinâmicos autônomos; A35 a importância da governança, prática de engenharia e economia na garantia de sistemas e software; A36 o uso da abordagem de SoS para a governança do transporte marítimo; A37 argumenta que a SoSE e a EA podem ser usadas para melhorar a governança de sistemas complexos, tornando-os mais resilientes, adaptáveis e seguros. A38 descreve o impacto das abordagens de governança nos ambientes SoS; A39 Aborda a governança sistêmica do tratamento do câncer como um SoS.

Finalmente, em relação aos modelos de verificação de requisitos de Governança de SoS sem estudo de caso, foram encontrados dois estudos. A07 aborda a infraestrutura de monitoramento (acompanhar e verificar o atendimento contínuo) de requisitos para sistemas de software de grande escala; A32 a verificação de propriedades relacionadas à missão em SoS com ênfase em software. A partir da extração dos dados, a síntese dos

¹¹ Um sistema ciberfísico (do inglês, *Cyber-Physical System* ou CPS) é um tipo de sistema composto por elementos computacionais colaborativos, que funcionam por meio de uma integração que conecta o mundo físico ao digital. Um sistema onde computadores, redes de comunicação e processos físicos que trabalham juntos de forma inteligente, por exemplo.

¹² DevOps é uma abordagem para o desenvolvimento e a operação de software que integra e automatiza os processos de desenvolvimento (Dev) e operações (Ops). O objetivo do DevOps é melhorar a velocidade, a qualidade e a confiabilidade do desenvolvimento e da implantação de software.

resultados pode ser realizada e as questões de pesquisa foram respondidas, conforme descrito nas próximas subseções.

4.1. Sobre a Questão de Pesquisa 1 (QP1)

Em resposta à questão de pesquisa “**O que é a governança no contexto de SoS?**”, foi possível observar que se trata de um conceito já definido na literatura, referenciado primeiramente por estudos entre 2008 e 2010. De forma resumida, a Governança de SoS é importante porque ajuda a garantir que os sistemas constituintes sejam integrados de forma eficaz e que o SoS como um todo atinja seus objetivos. Também ajuda a mitigar riscos, melhorar o desempenho e reduzir custos.

Um dos primeiros estudos relacionados ao assunto (Sloane et al., 2008) não traz uma definição formal para Governança de SoS, porém já apresenta o significado do termo governança neste contexto, cujo papel é recomendar de forma ampla o estabelecimento e a gestão de algum tipo de grupo especializado de sistemas, outros serviços e recursos, que visam garantir que os consumidores de serviços, provedores e elementos de infraestrutura funcionem de maneira confiável e em sincronia.

Já a primeira definição formal para Governança de SoS é apresentada em 2010 (Buijs et al., 2015), onde a Governança em Engenharia de SoS (SoSE, do inglês *System-of-Systems Engineering*) é definida como a aplicação de uma estrutura de princípios, práticas e processos para orientar e controlar o desenvolvimento e a operação de sistemas complexos e interconectados, com objetivo de garantir a coordenação eficaz, integração e sustentabilidade dos sistemas envolvidos, assegurando que os objetivos estratégicos sejam atingidos de maneira eficiente e adaptativa às mudanças e inovações tecnológicas.

Ao longo dos anos essa definição evoluiu, porém se manteve com sentido próximo aos conceitos apresentados em outros estudos iniciais. Katina et al. (2019), definem Governança de SoS como uma estrutura focada na direção, supervisão e responsabilidades necessárias para garantir a coordenação e integração eficazes entre os sistemas constituintes, destacando o conceito de Governança de Sistemas Complexos (CSG, do inglês *Complex System Governance*), que visa melhorar o desempenho do SoS por meio do design, execução e evolução intencionais das funções essenciais do metassistema. A governança, neste contexto, aborda os desafios impostos pela natureza ambígua, emergente e incerta dos sistemas modernos, proporcionando uma abordagem estruturada para gerenciar essas complexidades de forma eficaz.

No estudo mais recente encontrado (Chebbi et al., 2023), Governança de SoS é definida com base em quatro pilares: (i) coordenação e integração: garantir que os sistemas individuais colaborem eficientemente, mesmo que mantenham sua autonomia operacional, (ii) estrutura organizacional: definir papéis e responsabilidades claras para os diferentes sistemas e suas interações, (iii) mecanismos de controle: implementar processos e ferramentas que monitoram, avaliam e ajustam o desempenho dos sistemas individuais e do SoS como um todo, (iv) flexibilidade e adaptabilidade: permitir que o SoS se adapte a mudanças no ambiente ou nos objetivos sem comprometer sua integridade ou funcionalidade.

4.2. Sobre a Questão de Pesquisa 2 (QP2)

Em relação à questão de pesquisa “**Como os princípios de governança têm sido usados no contexto de SoS?**” foram encontrados 14 (35%) estudos que evidenciam que há uso

prático da Governança em SoS e 26 (65%) que não, representados na Figura 10. A maioria dos artigos que evidenciam o uso da governança apresentam estudos de caso utilizando *frameworks* em domínios específicos, como áreas de segurança (Sara et al., 2019a) e tráfego (Wu et al., 2002), por exemplo. Porém estes estudos foram conduzidos em ambientes que não permitem uma avaliação do seu funcionamento em situações reais, e por este motivo não podem ser utilizados como referência para a avaliação desta questão de pesquisa.

Dentre os 14 selecionados, 11 estudos apresentaram propostas de *frameworks* (Bera et al., 2012; Chebbi et al., 2023; Darabi et al., 2012; Katina et al. 2019; Ling et al., 2019; Payne et al., 2020; Rudolph et al., 2012; Qaddoumi et al., 2017; Qaddoumi et al., 2018; Sloane et al., 2008; Vaneman et al., 2013). Isso é relevante porque esse tipo de estudo tende a representar o uso prático da governança em SoS, uma vez que os *frameworks* representam conjuntos de componentes e relações predefinidos, que podem ser utilizados para construir sistemas, fornecendo a estrutura para o seu desenvolvimento e facilitando a reutilização de componentes e a conformidade com padrões.

HÁ USO PRÁTICO DA GOVERNANÇA EM SoS?

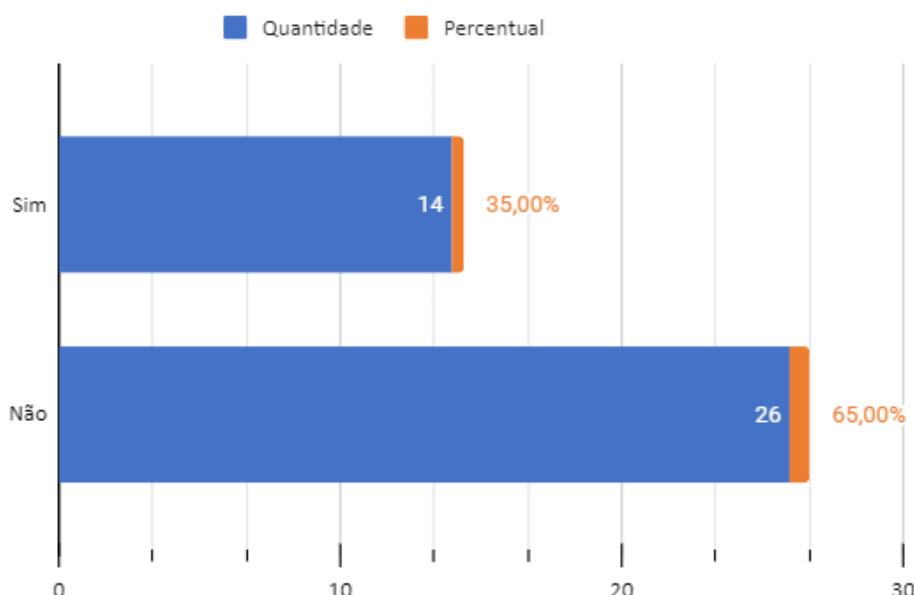


Figura 10. Uso prático da Governança de SoS

Considerando os 14 estudos em que ocorre o uso prático da Governança em SoS (A02, A03, A06, A07, A08, A13, A14, A15, A24, A26, A27, A30, A32 e A33), A02 apresenta um estudo de caso para ilustrar a aplicação do *framework* PROVE em um contexto de governança de propriedade intelectual. O estudo de caso destaca como o *framework* pode ser usado para desenhar processos de desenvolvimento que considerem os aspectos da propriedade intelectual, identificando e resolvendo desafios relacionados à governança.

A03 apresenta um estudo que enfatiza a necessidade de uma estrutura de governança para coordenar e gerenciar as atividades de teste em um SoS. Esta estrutura

define as responsabilidades e as linhas de comunicação entre os diferentes sistemas e suas equipes de teste, as políticas e diretrizes para a priorização dos testes e a alocação de recursos, a implementação de processos e procedimentos padronizados para o teste, o monitoramento contínuo e a avaliação dos esforços, a gestão de riscos associados e a colaboração e a coordenação entre as equipes de teste dos diferentes sistemas componentes. Neste sentido o estudo propõe um *framework* que visa otimizar o esforço de teste, concentrando-se em estratégias que priorizam os testes mais críticos e reduzem a redundância, feito por meio de análise sistemática das dependências e interações entre os sistemas componentes.

A06 aplica o *framework* proposto a uma rede de despoluição, que se trata de um SoS que é composto por sistemas individuais, como estações de tratamento de água e sistemas de transporte de resíduos. O *framework* proposto é utilizado para organizar e governar a rede, garantindo que ela funcione de forma eficaz e eficiente. A07 descreve a arquitetura da infraestrutura e discute aspectos importantes, como a seleção de requisitos para monitoramento, a definição de métricas relevantes e a interpretação dos resultados obtidos. Ele também apresenta um estudo de caso que demonstra a aplicação da infraestrutura de monitoramento de requisitos em um sistema de software de grande escala. A08 apresenta um *framework* aplicado ao setor de saúde, especificamente ao cuidado de câncer, cujo SoS é composto por sistemas de diagnóstico, de tratamento e de apoio ao paciente. O *framework* proposto é usado para governar a qualidade do cuidado do câncer, garantindo que ele seja eficaz, eficiente e seguro.

A13 descreve um estudo de caso relacionado ao setor de transporte em Cingapura, país asiático, para ilustrar a aplicação do *framework* de governança. O artigo destaca iniciativas específicas naquele país, como o sistema de pedágio eletrônico, o planejamento integrado do transporte público e a coleta de dados em tempo real para aprimorar a gestão do tráfego. A14 propõe *framework* AGSOA, aplicado no contexto de um SoS militar, composto por sistemas de diferentes tipos, como sistemas de comando e controle, sistemas de armas e sistemas de logística. O *framework* foi proposto para governar o SoS, garantindo que ele funcionasse de forma eficaz e eficiente. A15 apresentou um estudo de caso de alinhamento dos esforços de análise e engenharia no âmbito da Engenharia de Sistemas e Arquitetura do Sistema Empresarial, e a sincronização da tomada de decisão dentro dos componentes de um SoSE.

A24 propõe um modelo que envolve a identificação de requisitos de governança específicos para os Sistemas Ciberfísicos de Sistemas (CPSoS), a definição de mecanismos de governança para orientar o comportamento autônomo dos sistemas, e a análise do impacto dessas interações na governança global. São discutidos diversos aspectos, como o alinhamento entre governança e autonomia, a transparência nas decisões autônomas, a responsabilidade e prestação de contas dos sistemas e a necessidade de estabelecer políticas e normas para garantir a governança adequada deste tipo de sistema. A26 aplica um modelo proposto a um SoS de defesa, que é composto de muitos sistemas inter-relacionados, como sistemas de armas, sistemas de comando e controle e sistemas de logística. Semelhante ao estudo A14, este também propõe um modelo que é usado para governar o SoS.

A27 fornece uma ferramenta para modeladores simularem as interações entre os componentes do SoS. Além disso, o *framework* destina-se a facilitar a governança de SoS para os profissionais. Os cinco pilares propostos do mecanismo de governança são: (i)

integração de propósitos, (ii) regulação de pertencimento, (iii) dispositivo de incentivo, (iv) protocolo de interações e (v) disseminação de princípios e distorção de percepção. Um modelo simulado de cadeia de suprimentos demonstra esses cinco pilares em ação dentro do contexto de SoS. A30 aplica uma metodologia a um SoSE de defesa. Assim como A14 e A26, também propõe uma metodologia para governança. A32

apresenta um estudo de caso que ilustra a aplicação da abordagem proposta em um SoS relacionado a sistemas de transporte. O artigo também discute os desafios associados à verificação de propriedades de missão em SoS e propõe diretrizes para sua aplicação efetiva. A33 apresenta um *framework* usado para governar a qualidade do SoS na área de defesa, assim como A14, A26 e A30, garantindo que ele atinja seus objetivos de qualidade. Em relação aos 26 estudos que não apresentam uso prático da governança, foi possível observar que alguns propõe frameworks de governança (A01, A05, A11), porém não existe verificação de sua utilização. Isso demonstra que propostas desse tipo são recorrentes, sendo que a maioria foi colocada em prática.

4.3. Sobre a Questão de Pesquisa 3 (QP3)

Para a questão de pesquisa 3 “**Como avaliar o uso da governança em SoS, e quais são as métricas usadas na avaliação?**” não foram obtidas respostas, uma vez que nenhum dos estudos incluídos apresentaram, de fato, estas evidências. Uma vez que não há esta preocupação, também não há métricas definidas para sua medição. Isso ocorreu porque a maioria dos arquivos apresentam propostas, mas não sugerem uma forma de avaliação. A resposta às três questões de pesquisa serviu então como referência para as discussões, ameaças à validade, e oportunidade e desafios, descritos na Seção 5.

5. Discussão

Após a extração e síntese dos dados e obtenção das respostas a QP1, QP2 e QP3, foi possível observar que a Governança de SoS é um processo de gerenciamento de sistemas complexos que são compostos por vários sistemas constituintes, que visa garantir que os sistemas menores sejam integrados de forma eficaz e que o SoS como um todo atinja seus objetivos, considerando diversas questões, como arquitetura, por meio definição de seus componentes, relacionamentos e interfaces, desenvolvimento e implantação, garantindo que sejam realizados de forma coordenada e eficiente, operação e manutenção, contribuindo para o que um SoS seja operado e mantido de forma segura e eficaz, gerenciamento de riscos, por meio de sua identificação e mitigação e gerenciamento de mudanças de forma controlada e segura.

Entretanto, apesar de ser importante para o sucesso dos SoS, no que diz respeito principalmente ao seu funcionamento coeso e eficaz, e ao alcance de seus objetivos, a governança de SoS pode ser considerada de difícil implementação. Na prática, envolve uma série de atividades que podem incluir, dentre outras, a definição de objetivos e requisitos do SoS, desenvolvimento de um plano de integração para os sistemas constituintes, gerenciamento de riscos associados, monitoramento do desempenho e aprimoramento contínuo. Além disso, é importante que esta implementação seja observada considerando os diferentes eixos da governança (Tricker, 2010; Silveira, 2015): (i) estratégia: define a direção e os objetivos da organização, alinhando-os com a visão de futuro; (ii) estrutura: define a organização, as responsabilidades, as relações de autoridade e os processos de tomada de decisão; (iii) pessoas: envolve a gestão de talentos, o desenvolvimento de competências e a criação de uma cultura organizacional

alinhada com os objetivos; (iv) processos: define os processos de negócio, as políticas e os procedimentos para garantir a eficiência e a eficácia das operações; (iv) tecnologia: abrange o uso da tecnologia para apoiar os processos de negócios e alcançar os objetivos estratégicos; (v) riscos: envolve a identificação, avaliação e gestão dos riscos que podem afetar a organização; (vi) compliance: garante o cumprimento das leis, regulamentos e normas aplicáveis; (vii) sustentabilidade: considera os aspectos ambientais, sociais e econômicos das decisões e ações da organização. A Tabela 13 apresenta uma série de benefícios que podem ser considerados em relação à aplicação dos princípios da governança em SoS para cada eixo.

Tabela 13. Benefícios da Governança de SoS por Eixo

Eixo	Benefício	Descrição
Estratégia	Alinhamento estratégico	A estratégia de um SoS deve estar alinhada com a visão de longo prazo da organização, considerando as necessidades e expectativas de todos os stakeholders envolvidos.
	Objetivos claros e mensuráveis	A definição de objetivos específicos e mensuráveis para o SoS é fundamental para garantir o sucesso.
Estrutura	Organização complexa	A estrutura de governança de um SoS deve ser flexível e capaz de lidar com a complexidade inerente a esses sistemas.
	Relações de interdependência	As relações de autoridade e os processos de tomada de decisão devem considerar as interdependências entre os diferentes sistemas que compõem o SoS.
Pessoas	Gestão de talentos multidisciplinares	A governança de SoS exige a gestão de equipes multidisciplinares com diferentes conhecimentos e habilidades.
	Cultura colaborativa	A criação de uma cultura colaborativa é fundamental para facilitar a comunicação e a coordenação entre os diferentes stakeholders.
Processos	Processos integrados	Os processos de negócio de um SoS devem ser integrados e coordenados

		para garantir a eficiência e a eficácia do sistema como um todo.
	Gestão de mudanças	A gestão de mudanças é um aspecto importante da governança de SoS, dada a complexidade e a dinâmica desses sistemas.
Tecnologia	Integração de sistemas	A tecnologia desempenha um papel fundamental na integração dos diferentes sistemas que compõem o SoS.
	Inovação contínua	A governança de SoS deve estimular a inovação contínua para garantir a competitividade do sistema.
Riscos	Gerenciamento de riscos complexos	Os riscos associados a SoS são frequentemente complexos e interconectados, exigindo uma abordagem proativa e sistemática para sua gestão.
	Resiliência	A governança de SoS deve garantir a resiliência do sistema, ou seja, sua capacidade de se recuperar de falhas e distúrbios.
Compliance	Conformidade com regulamentações	Os SoS devem cumprir as leis e regulamentações aplicáveis, especialmente em setores altamente regulamentados.
	Gestão de contratos	A gestão de contratos com os diferentes fornecedores e parceiros é crucial para garantir a conformidade e o cumprimento das obrigações contratuais.
Sustentabilidade	Sustentabilidade ambiental	A governança de SoS deve considerar os impactos ambientais do sistema e buscar soluções sustentáveis.
	Sustentabilidade social	A governança de SoS deve promover a inclusão social e o bem-estar das comunidades afetadas pelo sistema.

De forma geral, a governança de SoS pode ser vista com uma ferramenta que poderia ajudar as organizações a obter sucesso em contextos de sistemas cada vez mais complexos, por meio da implementação de uma estrutura de governança eficaz, em que as organizações teoricamente poderiam garantir que seus SoS estejam alinhados com seus objetivos estratégicos organizacionais e atinjam suas metas de negócios. Também é factível supor outras vantagens da utilização da governança, como: (i) integridade: a estrutura de governança que deve garantir que os sistemas menores sejam integrados de forma eficaz e que o SoS como um todo atinja seus objetivos; (ii) transparência: a governança deve ser transparente para todas as partes interessadas; (iii) responsabilidade: a estrutura de governança definir as responsabilidades de cada parte interessada; (iv) flexibilidade: definição de uma estrutura de governança flexível o suficiente para se adaptar às mudanças nas condições.

5.1. Ameaças à Validade

As ameaças à validade do deste mapeamento sistemático, identificadas durante a sua elaboração, foram observadas considerando as categorias apresentadas em estudo de Ampatzoglou (et al., 2019): (i) validade das conclusões estatísticas: refere-se à precisão das inferências estatísticas feitas a partir dos dados; (ii) validade interna: relacionada à causalidade, ou seja, se a relação observada entre as variáveis é de fato causal; (iii) validade de construção: refere-se à adequação das medidas utilizadas para representar os conceitos teóricos; (iv) validade externa: relacionada à generalização dos resultados para outras populações, contextos ou tempos; (v) validade teórica: similar à validade de construção, mas com foco mais forte na relação entre os dados e a teoria; (vi) validade interpretativa: relacionada à precisão da interpretação dos dados qualitativos; (vii) validade descritiva: refere-se à precisão e objetividade das informações coletadas, especialmente em estudos qualitativos.

A primeira delas diz respeito à *string* de busca utilizada que, por refinar o escopo da busca, pode ter excluído alguns estudos relevantes que poderiam ser considerados válidos para análise. Com objetivo de minimizar este efeito foi realizada uma busca no mecanismo Google Scholar, utilizando a mesma *string*, que retornou uma quantidade significativa de estudos (17400), dos quais os 60 primeiros foram analisados. Dentre estes estudos relevantes também foram encontrados livros e teses de doutorado relacionadas ao tema, que foram descritos na Seção 2. Foi possível observar ainda que, a partir deste ponto (os sessenta primeiros resultados), os estudos já não apresentavam mais relação efetiva com o assunto. Também foram pesquisados trabalhos em periódicos ou conferências renomados relacionados à área, como ACM Computing Surveys, ISIS (International Symposium on Advanced Intelligent Systems), SBES (Simpósio Brasileiro da Engenharia de Software) e SBSI (Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação).

Uma outra ameaça está relacionada ao viés de um único pesquisador na extração dos dados, uma vez que a participação de outros especialistas aconteceu durante a revisão do relatório. Por esse motivo, todo processo de seleção de estudo e extração de dados foi realizado de forma sistemática, auditável e repetível, sendo realizada com supervisão dos pesquisadores envolvidos na elaboração deste mapeamento. Ademais, o material utilizado na extração está público¹³, seguindo os princípios de Ciência Aberta atualmente

13

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1XAtlvI1QBUuirH7J2_D-fet8ajJdd71gW37lA9sxTp4/edit?usp=sharing

iSys: Revista Brasileira de Sistemas de Informação (iSys: Brazilian Journal of Information Systems) <https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/isys>

em voga. Outras dúvidas que surgiram durante a elaboração foram dirimidas por meio de discussões entre os pesquisadores, com o intuito principal de minimizar qualquer interferência de imparcialidade na análise, o que tende garantir maior confiabilidade ao processo, principalmente de seleção e extração dos dados.

Outra questão a ser considerada é a quantidade de bases pesquisadas, totalizando seis. Outras bases complementares poderiam ser utilizadas, porém por terem sido utilizadas três bases com motores de busca mais abrangentes, ACM Digital Library (The ACM Guide to Computing Literature), Scopus e Engineering Village, e duas com motores mais restritivos, IEEE Xplore e Web Of Science, além do próprio Google Scholar, que retornou grande volume de resultados, parte-se do pressuposto que utilização destas bases, que podem ser consideradas diferentes, porém complementares, foi suficiente para reduzir o risco da não inclusão de estudos relevantes. Apesar disso, podem ser realizadas buscas complementares em outras bases diferentes das listadas acima.

Finalmente, a quantidade relativamente pequena de estudos retornados, com quarenta estudos considerados relevantes a partir do protocolo, poderia colocar em questionamento a força da evidência estatística dos dados colhidos. Entretanto, foi possível observar que estudos selecionados representam o estado da arte em Governança de SoS, que representam, de fato, a totalidade de estudos primários disponíveis na área. Ademais, outros estudos similares apresentam o mesmo espaço amostral e foram publicados em veículos renomados, mostrando que se trata de um número aceitável para um mapeamento.

5.2. Contribuições

As principais contribuições deste estudo estão listadas a seguir nesta seção, que apresenta os principais resultados do estudo, divididos em contribuições teóricas e práticas. As teóricas são baseadas na análise dos dados coletados e podem incluir novas teorias, modelos, conceitos ou proposições. As práticas são as implicações dos resultados do estudo para a prática e podem incluir recomendações para políticas, práticas ou intervenções.

1. **Identificação de lacunas na literatura.** Com objetivo de identificar lacunas na literatura, indicando áreas que precisam de mais pesquisas, ficou evidente que não há métodos de avaliação do uso da governança em SoS, tampouco métricas que podem ser usadas para tal. Trata-se então de umas das principais lacunas na literatura, que pode ser mais bem explorado em futuros estudos. Essa evidência foi obtida com base, principalmente, nas análises das respostas às questões de pesquisa 2 e 3, onde foi identificado que apenas 14 (35%) estudos evidenciam o uso prático da governança em SoS, porém nenhum faz essa avaliação de maneira formal.
2. **Síntese de resultados de pesquisas.** Com objetivo de sintetizar os resultados de pesquisas anteriores, fornecendo uma visão geral do estado da arte, foi possível observar que a definição para o termo Governança de SoS já está bem consolidada e madura, sendo referenciado em diversos estudos. Além disso, a importância da aplicação da governança em SoS, bem como seus benefícios, também estão descritos. Entretanto é importante salientar que estes benefícios estão listados sob o ponto de vista conceitual. Há uma suposição geral, em vários estudos, que há

benefícios relacionados à aplicação dos princípios de governança aos SoS, além da proposta de vários frameworks que supostamente poderiam ser aplicados e trariam esses benefícios, porém não há comprovação que isso ocorra de forma efetiva.

3. **Desenvolvimento de novas teorias ou modelos.** Com objetivo de fornecer evidências para o desenvolvimento de novas teorias ou modelos foi possível observar que é importante que seja proposto um framework de Governança de SoS que possa ser verificado, preferencialmente em uma situação de uso real. Isso pode ser feito por meio de uma proposta de um modelo conceitual e instanciação de um estudo de caso, por exemplo. Este modelo conceitual pode ser proposto em diversos formatos, como um metamodelo, por exemplo, mas é importante que o mesmo possa ser avaliado considerando os objetivos definidos pela governança.
4. **Recomendações para políticas ou práticas.** Com objetivo de fornecer recomendações para políticas ou práticas com base nos resultados da pesquisa, foi observado que foram propostos diversos frameworks de governança de SoS, para diferentes áreas, como segurança, trânsito e saúde, por exemplo. Apesar de serem áreas distintas, a maioria dos frameworks propostos tinham o mesmo objetivo, de garantia dos requisitos de governança. Fica evidente então que um modelo genérico poderia ser proposto e teria um suposto potencial de utilização em diferentes áreas.

5.3. Oportunidades e Desafios

Cumprindo o que se espera de um mapeamento, foi possível identificar oportunidades de pesquisa como resultado da síntese dos dados que responderam às questões de pesquisa elaboradas. Dentre as oportunidades identificadas, pode-se mencionar:

1. **Sistematização do Conhecimento.** Uma contribuição importante para qualquer ciência diz respeito à sistematização do conhecimento daquela área em artefatos, tais como taxonomias, modelos conceituais, modelos de referência. Percebeu-se que, ainda que haja relativa abundância de trabalhos sobre o assunto, a área ainda carece de artefatos que materializem o conhecimento acumulado ao longo dos anos.
2. **Elevação no Nível de Abstração e Modelo Unificado de Governança de SoS.** Muitos modelos propostos nos estudos incluídos tratam de modelos e frameworks específicos de domínio. Um desafio ainda existente é a unificação dos conceitos de domínios específicos (como incêndio, domínio marítimo, segurança), explorando as similaridades e variabilidades para criar um modelo unificado.
3. **Maturidade das Evidências Empíricas na área.** Percebeu-se que uma porção significativa dos estudos reportam proposições de modelos sem avaliação ou com avaliação do tipo prova de conceito ou *toy example*. Alguns estudos chamam sua avaliação de estudo de caso; entretanto, segundo o que se entende na literatura como estudo de caso, percebe-se uma lacuna de rigor científico no que é reportado. Wohlin et al. (2021, 2022) discutem os critérios utilizados para se definir um estudo de caso e fornece orientação sobre como escrever um bom estudo de caso, de forma que os autores considerem os seguinte aspectos: identifiquem um problema ou pergunta de pesquisa clara e específica; coletem evidências de uma variedade de fontes; analisem as evidências de forma crítica e

objetiva; apresentem os resultados da pesquisa de forma clara e concisa; discutam as implicações dos resultados para a teoria e a prática.

4. **Proposição de um modelo de avaliação da governança ou um modelo de maturidade em Governança de SoS.** Com objetivo de fornecer uma estrutura para melhorar os processos de uma organização, propor um modelo de maturidade de processos que identifica áreas de melhoria em uma organização e fornece orientação sobre como melhorar esses processos, assim como os instrumentos de avaliação da norma ISO 15504 (ABNT, 2017), dos modelos CMMI (SEI, 2018) ou MPS BR (Softex, 2018).
5. **Investigação via survey com profissionais da indústria.** Onde haja SoS que permitam a investigação para entender as barreiras que existem atualmente na aplicação dos princípios de governança nestas empresas.
6. **Proposta de um modelo conceitual de Governança de SoS e instanciação por meio de um estudo de caso.** Este modelo conceitual pode ser proposto no formato de um metamodelo, que é um instrumento que pode ser utilizado para fornecer uma visão geral de um domínio de conhecimento ou de um campo de pesquisa, podendo ser usados para facilitar a comunicação entre pesquisadores, para comparar diferentes modelos e para identificar lacunas na pesquisa. Os metamodelos podem ajudar pesquisadores a comunicar suas ideias de forma clara e concisa, para comparar diferentes modelos e identificar semelhanças e diferenças para identificar lacunas na pesquisa e ajudar pesquisadores a colaborar em pesquisas conjuntas.

6. Considerações Finais

Este estudo apresentou resultados de um mapeamento sistemático conduzido para levantar o estado da arte referente a Governança no contexto dos SoS. 804 estudos foram recuperados de seis bases científicas diferentes sendo que, destes, 40 foram incluídos para análise, contribuindo para levantar o estado da arte relacionado ao assunto estudado, apresentando o conhecimento existente sobre a área e apontando direções de pesquisa. Por não terem sido encontrados outros trabalhos secundários semelhantes, acredita-se que este seja o primeiro trabalho desta natureza.

Dentre os 40 selecionados para análise vários apontam para utilização de framework de governança de SoS, pospostos com o objetivo de garantir que esses sistemas sejam governados de forma eficaz e eficiente, com objetivo de garantir a confiabilidade e a conformidade dos serviços. A maioria desses frameworks são baseados na definição de conjuntos de critérios que são considerados relevantes para a governança de SoS, como segurança, conformidade, agilidade, gestão de riscos, colaboração entre os provedores de serviços e a participação de autoridades regulatórias. Além disso, foi possível observar que SoS a maioria dos estudos indicam que o SoS são sistemas complexos que podem ser difíceis de governar, e que a utilização de frameworks para estabelecer a governança de SoS podem ajudar nesse aspecto.

Vários frameworks foram propostos nos estudos, com vários formatos e visões, como baseadas em competências, em modelos de três camadas, em abordagem sistêmica considerando princípios de visão holística, adaptativa, interdependente, cooperativa e baseada em consenso, a partir de requisitos de segurança ou considerando requisitos específicos relacionados à computação em nuvem, por exemplo. Porém, a maioria dos

estudos também conclui que a governança de SoS é um desafio, pois esses sistemas são complexos e dinâmicos, e que a governança é um componente essencial para o sucesso do SoS, pois permite uma abordagem holística na gestão de sistemas complexos e interconectados, promovendo a coordenação, o alinhamento e a tomada de decisões estratégicas para garantir o sucesso e a sustentabilidade dos SoS. Por meio da aplicação de princípios de governança, os profissionais de SoS podem enfrentar os desafios específicos relacionados à integração, coordenação e governança de sistemas complexos, contribuindo para a eficiência, a eficácia e a resiliência desses sistemas, que a governança, portanto, pode desempenhar um papel crítico no avanço da Engenharia de SoS e na superação dos desafios enfrentados nesse campo.

As principais contribuições deste estudo foram apresentadas sob o ponto de vista teórico, baseadas na análise dos dados coletados, ou prático, pelas implicações dos resultados observados no estudo. Basicamente, foram identificadas lacunas na literatura, indicando áreas que precisam de mais pesquisas, sínteses de resultados de pesquisas, com objetivo de sintetizar os resultados de pesquisas anteriores, fornecendo uma visão geral do estado da arte, desenvolvimento de novas teorias ou modelos, visando fornecer evidências para o desenvolvimento de novas teorias ou modelos, recomendações para políticas ou práticas, com base nos resultados da pesquisa. Além disso, o resultados deste mapeamento indicam que (i) Governança em SoS é um conceito já definido na literatura, e ajuda a garantir que os sistemas constituintes sejam integrados de forma eficaz, e que o SoS como um todo atinja seus objetivos, (ii) apenas 14 dos 40 (35%) estudos incluídos mostram a aplicação de Governança em SoS na prática, o que mostra uma dificuldade de institucionalização de princípios de governança em cenários de SoS, o que pode ser material de investigação, (iii) nenhum dos estudos incluídos mostra como avaliar o uso da governança em SoS. Oportunidades de pesquisa foram identificadas para guiar a comunidade de SoS na investigação do assunto nos próximos anos.

Trabalhos futuros incluem (i) a elaboração de um modelo conceitual que sintetiza os conceitos eliciados aqui, (ii) sua instanciação em cenário real como forma de avaliação preliminar, (iii) condução de estudos suplementares como estudos de caso e survey. Quanto à continuação da revisão da literatura, a aplicação de *snowballing* pode auxiliar na expansão dos estudos incluídos.

Referências

- ABNT. (2017). *ISO/IEC 15504:2017-08. Sistemas e softwares - Modelo de referência de capacidade para processos*. Seção 4.2. Rio de Janeiro: ABNT.
- Alves, L. (2001). Governança e cidadania empresarial. *Revista de Administração de Empresas*, 41(4), 78-86.
- Ampatzoglou, A., Bibi, S., Avgeriou, P., Verbeek, M., and Chatzigeorgiou, A. (2019). Identifying, categorizing and mitigating threats to validity in software engineering secondary studies. *Information and Software Technology*, 106, 201-230.
- Anderson, W., and Carney, D. (2009). Distributed project governance assessment (DPGA): Contextual, hands-on analysis for project governance across sovereign boundaries. In *Proceedings of the 2009 ICSE Workshop on Software Development Governance*, SDG '09, pp. 27–28.

- Axelsson, J. (2015). A systematic mapping of the research literature on system-of-systems engineering. In *10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, San Antonio, TX, USA, pp. 18-23.
- Batista, P., Neto, R., Paes, C., Lima, E., Rohling, A., and Graciano-Neto, V. (2021). Arquiteturas de Referência para Sistemas-de-Sistemas: um Mapeamento Sistemático. *iSys - Brazilian Journal of Information Systems*, 14, 119-153.
- Bera, P., and Pasala, A. (2012). A framework for optimizing effort in testing of system of systems. In *Proceedings of the 2012 Third International Conference on Services in Emerging Markets*, ICSEM '12, December 2012, pp. 136–141.
- Berteau, D., Ben-Ari, G., Archer, J., and Raghavan, S. (2014). Identifying Governance Best Practices in Systems-of-Systems Acquisition. *Systems-of-Systems*. CSIS-AM-14-006. Acquisition Research Program.
- Boscarioli, C., Araujo, R., and Maciel, R. (2017). I GranDSI-BR: Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026. São Paulo: Associação da Computação da América Latina, IEEE Computer Society.
- Boxer, P., Kirwan, P., and Sassenburg, H. (2011). The impact of governance approaches on SoS environments. *Asymmetric Leadership*.
- Bradley, J., Joiner, K., Efatmaneshnik, M., and Keating, C. (2017). Evaluating Australia's most complex system-of-systems, the future submarine: A case for using new complex systems governance. *Volume 27, Issue 1*, 187–199.
- Bradley, J., Unal, R., Pinto, C., and Cavin, E. (2015). Competencies for governance of complex systems of systems. *International Journal of System of Systems Engineering*, 6(1/2), 1–24.
- Buhnova, B., Halasz, D., Iqbal, D., and Bangui, H. (2023). Survey on trust in software engineering for autonomous dynamic ecosystems. In *Proceedings of the 38th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, SAC '23, March 2023, pp. 1490–1497.
- Buijs, R., Van Der Zee, E., Van Der Veen, J., and Van Wijk, M. (2015). Implementing a methodology for governing SOSE analysis. *Systems Engineering Journal*, 18(4), 523–542.
- Buijs, T., Van Der Zee, E., Herder, M., and Van Donk, P. (2012). Data governance for SoS. *Systems Engineering Journal*, 15(4), 467–486.
- Calida, B., Jaradat, R., Abutabenjeh, S., and Keating, C. (2016). Governance in systems of systems: A systems-based model. *International Journal of System of Systems Engineering*, 6(1/2), 1–24.
- Calida, D. (2018). *Critical Infrastructures, Key Resources, Key Assets: Risk, Vulnerability, Resilience, Fragility, and Perception Governance*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland. ISBN: 978-3-319-69224-1.
- Chebbi, M., Chapurlat, V., Wienin, J., and Aprin, L. (2023). A proposal for system of systems organization and governance: Application to a depollution network. In *18th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, Lille, France, pp. 1-7.

- Croll, P. (2014). System and software assurance - Rationalizing governance, engineering practice, and engineering economics. In *2014 IT Professional Conference*, Gaithersburg, MD, USA, pp. 1–31.
- Darabi, H. R., Gorod, A., and Mansouri, M. (2012). Governance mechanism pillars for systems of systems. In *2012 7th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, Genova, Italy, pp. 374–379.
- Felizardo, K. R., Nakagawa, E. Y., Fabbri, S. C. P. F., and Ferrari, F. C. (2017). *Revisão sistemática da literatura em Engenharia de Software: Teoria e Prática*. Elsevier.
- Garcia, T. (2005). *Governança corporativa e o conflito de interesses nas sociedades anônimas*. São Paulo: Atlas. ISBN-13: 978-8522440948.
- Gharib, M., Lollini, P., Ceccarelli, A., and Bondavalli, A. (2020). Governance & autonomy: Towards a governance-based analysis of autonomy in cyber-physical systems-of-systems. In *2020 IEEE 15th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, Budapest, Hungary, pp. 000217–000222.
- Gorod, A., Merchant, S., and Hallo, L. (2018). Toward systemic governance of cancer treatment as a system of systems. In *13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, June 2018, pp. 556–560.
- Graciano-Neto, V., dos Santos, R., Viana, D., and Araujo, R. (2017). Towards a Conceptual Model to Understand Software Ecosystems Emerging from Systems-of-Information Systems. In *Software Ecosystems, Sustainability and Human Values in the Social Web* (pp. 1-20). Springer, Cham.
- Hallmans, D., Sandström, K., Larsson, S., and Nolte, T. (2021). Challenges in providing sustainable analytics of system of systems with long life time. In *Proceedings of the 16th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, June 2021, pp. 69–74.
- Hegedűs, C., Varga, P., and Tanyi, S. (2020). A governance model for local and interconnecting Arrowhead clouds. In *IECON 2020 - The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, October 2020, pp. 4497–4502.
- Imamura, M., Costa, L. A., Pereira, B., and Ferreira, F. H. C. (2020). Fatores de governança em sistemas-de-sistemas: Análise de uma instituição pública brasileira. In *Anais do Workshop sobre Aspectos Sociais, Humanos e Econômicos de Software (WASHES)*.
- ISACA. (2012). *COBIT 5: Framework for the Governance and Management of Enterprise IT*. Rolling Meadows, IL, USA: ISACA.
- Kannabiran, G., and Pandyan, C. (2010). Enabling role of governance in strategizing and implementing KM. *Journal of Knowledge Management*, 14(3), 335-347.
- Katina, P., Keating, C., Bobo, J., and Toland, T. S. (2019). A governance perspective for system-of-systems. *Systems*, 7, 54.
- Keating, C. B. (2014). Governance implications for meeting challenges in the system of systems engineering field. In *2014 9th International Conference on System of Systems Engineering (SOSE)*, Glenelg, SA, Australia, pp. 154–159.

- Kim, Y., Johnston, E., and Kang, H. (2011). A computational approach to managing performance dynamics in networked governance systems. *Citation Data - Public Performance and Management Review*, 34(4), 580-597. ISSN: 1530-9576.
- Kitchenham, B., and Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. *EBSE Technical Report*, EBSE-01, July.
- Kou, Y., Gui, X., Zhang, S., and Nardi, B. (2017). Managing Disruptive Behavior through Non-Hierarchical Governance: Crowdsourcing in League of Legends and Weibo. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, 1, CSCW, Article 62 (November 2017), 17 pages.
- Kudo, T. N., Neto, R., Macedo, A., and Vincenzi, A. (2019). Padrão de Requisitos no Ciclo de Vida de Software: Um Mapeamento Sistemático. In *Proceedings of XXII Conferencia Iberoamericana de Software Engineering*, XXII Conferência Iberoamericana de Engenharia de Software, Havana, Cuba.
- Ling Lee, O., Im Tay, R., Tsair Too, S., and Gorod, A. (2019). A smart city transportation system of systems governance framework: A case study of Singapore. In *14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE)*, May 2019, pp. 37–42.
- Lyneis, J. M., and Snowdon, D. C. (2009). An initial perspective on governing a system of systems. *Systems Engineering Journal*, 12(1), 5–23.
- Lyneis, J., Snowdon, D., Kaplan, C., and Cavin, E. (2012). Coupling quantitative vulnerability assessment and complex system governance for systems of systems. *Systems Engineering Journal*, 15(4), 487–506.
- Maier, M. W. (1998). Architecting principles for systems-of-systems. *Systems Engineering*, 1(4), 267–284.
- Mahood, Q., Eerd, D. V., and Irvin, E. (2014). Searching for Grey Literature for Systematic Reviews: Challenges and benefits. *Res Synth Methods*, 5(3), 221-34.
- Mansouri, M., Gorod, A., Wakeman, T. H., and Sauser, B. (2009). A systems approach to governance in maritime transportation system of systems. In *2009 IEEE International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, Albuquerque, NM, USA, pp. 1–6.
- Mansouri, M., Gorod, A., Wakeman, T., and Sauser, B. (2010a). System of systems approach to maritime transportation governance. *Transportation Research Record*, 2166(1), 66–73.
- Mansouri, M., and Mostashari, A. (2010b). A systemic approach to governance in extended enterprise systems. In *IEEE International Systems Conference*, San Diego, CA, USA, pp. 311–316.
- Neto, V., and Kassab, M. (2023). *What Every Engineer Should Know About Smart Cities*. New York: Routledge. (Smart Cities Series, v. 1).
- Nguyen, T., and Ngo, T. (2021). Policy Aspects of Service-Based Governance in Secondary Educational Institutions of Vietnam. *Volume 5, Issue 8*.
- Nielsen, C., Larsen, B., Peter, G., Fitzgerald, J., Woodcock, J., and Peleska, J. (2015). Systems of systems engineering: Basic concepts, model-based techniques, and research directions. *ACM Computing Surveys*, 48(2), Article No. 18, 1–41.

- Norman, M., and Kuras, J. (2007). Governance of collaborative system of systems. *Systems Engineering Journal*, 10(4), 365–378.
- Pai, M., McCulloch, M., Gorman, J., Pai, N., Enanoria, W., Kennedy, G., Tharyan, P., and Colford, J. (2004). Systematic reviews and meta-analyses: an illustrated, step-by-step guide. *Natl Med J India*, 17(2), 86–95. PMID: 15141602.
- Payne, B., Ling, L. O., and Gorod, A. (2020). Towards a governance dashboard for smart cities initiatives: a system of systems approach. *International Journal of Smart Cities*, 10(3), 45–60.
- Petersen, K., Vakkalanka, S., and Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64, 1–18.
- Qaddoumi, E., Odeh, M., Khan, Z., Kossmann, M., Tbakhi, A., and Mansour, A. (2018). A semantically-enriched quality governance framework for systems of systems applied to cancer care. In *1st International Conference on Cancer Care Informatics (CCI)*, Amman, Jordan, pp. 15–24.
- Qaddoumi, E., Odeh, M., Khan, Z., Kossmann, M., Traish, I., and Tbakhi, A. (2017). OntoSoS.QM.Gov: A quality governance framework for systems of systems. In *Complex Systems Design and Management Conference*.
- Rijke, J., Brown, R., Zevenbergen, C., Ashley, R., Farrelly, M., Morison, P., and Herk, S. (2012). Fit-for-purpose governance: A framework to make adaptive governance operational. *Environmental Science and Policy*, 22, 73–84.
- Rossetti, J., and Andrade, A. (2014). *Governança corporativa: Fundamentos, desenvolvimento e tendências* (7th ed.). São Paulo: Atlas.
- Rudolph, T., Salwen, J., Daniels, M., and Higginson, J. (2012). Aligning analysis and engineering decision-making within a military distributed system of systems. In *2012 7th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, Genova, Italy, pp. 173–178.
- Salado, A. (2015). Abandonment: A natural consequence of autonomy and belonging in systems-of-systems. In *2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, San Antonio, TX, USA, pp. 352–357.
- Sara, O., Carturan, G., and Goya, D. H. (2019a). A systems-of-systems security framework for requirements definition in cloud environment. In *Proceedings of the 13th European Conference on Software Architecture - Volume 2*, ECSA '19, September 2019, pp. 235–240.
- Sara, O., Carturan, G., and Goya, D. H. (2019b). Major challenges of systems-of-systems with cloud and DevOps: A financial experience report. In *Proceedings of the 7th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 13th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems*, Goya SESoS-WDES '19, May 2019, pp. 10–17.
- SEI. (2018). *CMMI for Development, Version 2.0*. Pittsburgh, PA, USA: Carnegie Mellon University.
- Shaked, A., and Reich, Y. (2018). A framework for development process design and its use for establishing intellectual property governance: Introduction of the PROVE iSys: Revista Brasileira de Sistemas de Informação (iSys: Brazilian Journal of Information Systems) <https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/isys>

- framework using a case study. In *13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*, June, pp. 22–28.
- Silva, E., Batista, T., and Oquendo, F. (2020). On the verification of mission-related properties in software-intensive systems-of-systems architectural design. *Science of Computer Programming*, 192, Issue C.
- Silveira, A. (2015). *Governança Corporativa no Brasil e no Mundo: teoria e prática* (2nd ed.). Rio de Janeiro: Elsevier.
- Sloane, E., Beck, R., and Metzger, S. (2008). AGSOA - Agile governance for service oriented architecture (SOA) systems: A methodology to deliver 21st century military net-centric systems of systems. In *2nd Annual IEEE Systems Conference*, Montreal, QC, Canada, pp. 1–4.
- SOFTEX. (2018). *Guia Geral MPS de Software - Versão 3.0*. São Paulo: Softex..
- Tricker, R. (2010). *Corporate Governance: Principles, Policies, and Practices* (5th ed.). Prentice Hall.
- Turner, R., Yilmaz, L., Smith, J., Li, D., Chada, S., Smith, A., and Tregubov, A. (2016). DATASEM: A simulation suite for SoSE management research. In *2016 11th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, pp. 1–6.
- Vaneman, W., and Jaskot, R. (2013). A criteria-based framework for establishing system of systems governance. In *IEEE International Systems Conference (SysCon)*, Orlando, FL, USA, pp. 491–496.
- Vanhala, E., Kasurinen, J., Knutas, A., and Herala, A. (2022). The Application Domains of Systematic Mapping Studies: A Mapping Study of the First Decade of Practice With the Method. *IEEE Access*, 10, 37924–37937.
- Vierhauser, M., Rabiser, R., and Grünbacher, P. (2014). A requirements monitoring infrastructure for very-large-scale software systems. In *REFSQ 2014: Proceedings of the 20th International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality*, Volume 8396, April, pp. 88–94.
- Walters, D., Moorthy, S., and Carter, B. (2014). System of systems engineering and enterprise architecture: Implications for governance of complex systems. *International Journal of System of Systems Engineering*, 5(3), 248–262.
- Walters, D., Moorthy, S., and Carter, B. (2014). System of systems engineering and enterprise architecture: Implications for governance of complex systems. *International Journal of System of Systems Engineering*, 5(3), 248–262.
- Withall, S. (2007). *Software Requirement Patterns*. Best practices, Microsoft Press, Redmond, Washington.
- Wohlin, C. (2021). Case study research in software engineering - It is a case, and it is a study, but is it a case study? *Information and Software Technology*, 133.
- Wohlin, C., and Rainer, A. (2022). Is it a case study? A critical analysis and guidance. *Journal of Systems and Software*, 192.
- Wu, C., and Caves, R. (2002). Research review of air traffic management. *Taylor & Francis*, 22(1).

Zhang, W., Yan, X., and Wu, C. (2012). Research and Development of Intelligent Transportation Systems. In *11th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science*, Guilin, China, 2012, pp. 321-327.