

Rumo a um Modelo Conceitual para Governança de Sistemas-de-Sistemas

Edison A. M. Morais, Andrey G. França, Valdemar V. Graciano-Neto

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Alameda Palmeiras, Quadra D, Câmpus Samambaia – 74.690-900 – Goiânia – GO – Brasil

{eammorais, andreygfranca, valdemarneto}@ufg.br

Abstract. *Systems-of-Systems (SoS) are complex, interconnected, and distributed systems. This complexity demands robust governance practice to ensure strategic alignment and operational efficiency. In that direction, the main contribution of this article is the presentation of a conceptual model of SoS Governance created using a technique inspired by Grounded Theory (GT). As a result, a conceptual model is conceived so that it can serve as a reference for forthcoming studies and application in real scenarios.*

Resumo. *Sistemas-de-Sistemas (SoS) são sistemas complexos e distribuídos. Essa complexidade demanda práticas de governança para garantir o alinhamento estratégico e a eficiência operacional do SoS com as empresas envolvidos. Neste sentido, a principal contribuição deste artigo é a apresentação de um modelo conceitual de Governança de SoS criado utilizando técnica inspirada em Grounded Theory (GT). Como resultado, é apresentado um modelo conceitual que pode servir como referência para estudos posteriores, além de capturar o estado da arte e auxiliar na instanciação de SoS com governança em cenários reais.*

1. Introdução

Sistemas complexos, como Sistemas-de-Sistemas (SoS¹) e seus constituintes, são cada vez mais desafiadores de serem gerenciados. SoS são frequentemente formados por sistemas com constituintes independentes e interdependentes, difíceis de descrever, prever e projetar [Alampalli and Pardo 2014]. Assim, há um grau considerável de incerteza e natureza holística, que acrescentam um nível adicional de desafio para gerenciar os interesses dos envolvidos [Keating and Katina 2019]. Neste contexto, a governança de SoS vem ganhando atenção [Katina et al. 2019b, Imamura et al. 2020], pois fornece a estrutura para gerenciar esses sistemas, além de permitir que os constituintes associados atendam a um conjunto de diretrizes e cumpram critérios de qualidade específicos, potencialmente entregando resultados que beneficiam as organizações envolvidas. SoS podem então se beneficiar da governança, no sentido de direcionar, coordenar e controlar as atividades deste tipo de sistema, auxiliando no alcance de seus objetivos.

Para desenvolver a solução proposta neste estudo, foi utilizado um método para criar um modelo conceitual de Governança de SoS, a partir da identificação e leitura de

¹Deste ponto em diante, o acrônimo SoS será usado de forma intercambiável, para expressar tanto a forma singular quanto a plural: Sistema-de-Sistemas e Sistemas-de-Sistemas

estudos que contêm propostas para *frameworks* de Governança de SoS. Doze estudos foram submetidos a um processo inspirado em *Grounded Theory* (GT), utilizado para extrair os conceitos essenciais usados na construção do modelo conceitual. Como resultado desse processo, foi concebido um modelo conceitual de Governança de SoS, contendo a identificação de conceitos e suas relações.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta as definições de Governança de SoS e Modelo Conceitual; a Seção 3 apresenta o processo de construção do modelo conceitual e o modelo conceitual proposto; a Seção 4 apresenta uma discussão e trabalhos relacionados; a Seção 5 conclui com considerações finais.

2. Governança de Sistemas-de-Sistemas e Modelos Conceituais

SoS são sistemas complexos, adaptativos e interconectados, compostos por múltiplos sistemas independentes [Maier 1998, Nielsen et al. 2015]. A Governança de SoS é um desafio crítico que requer a coordenação de múltiplos *stakeholders* e o alinhamento de seus interesses, devendo abordar uma ampla gama de questões [Keating and Bradley 2015], tais como definição dos objetivos do SoS, gerenciamento dos riscos e garantia de sustentabilidade. Existe uma literatura crescente sobre governança de SoS, propondo diversas estruturas, modelos e processos para essa finalidade. Uma das estruturas mais influentes para governança de SoS é a *SoS Architecture Framework* (SoSA), que define um conjunto de princípios arquitetônicos para governança de SoS, incluindo: (i) resistência: deve ser projetado para ser resiliente a mudanças; (ii) adaptabilidade: deve ser capaz de se adaptar a requisitos em constante mudança; (iii) coesão: deve ser integrado e coordenado; (iv) propriedade: deve ter um proprietário ou equipe proprietária bem definidos. A governança de SoS, neste contexto, baseia-se nos seguintes conceitos-chave: (i) *stakeholders*: o modelo considera os interesses de todos os *stakeholders* do SoS, incluindo proprietários, operadores, usuários e fornecedores; (ii) objetivos: o modelo define um conjunto de objetivos para o SoS, como desempenho, segurança e sustentabilidade; (iii) processos de governança: o modelo identifica um conjunto de processos de governança essenciais para alcançar os objetivos do SoS; (iv) mecanismos de governança: o modelo define um conjunto de mecanismos de governança que apoiam os processos de governança.

Modelos conceituais, por sua vez, são uma representação abstrata de um sistema ou fenômeno [Novak and Cañas 2006]. É usado para capturar os conceitos fundamentais e as relações entre eles, sem se preocupar com detalhes específicos de implementação. Modelos conceituais são úteis para diversos propósitos, incluindo: (i) comunicação: podem ser usados para comunicar a compreensão de um sistema ou fenômeno a um público amplo; (ii) análise: podem ser usados para analisar um sistema ou fenômeno e identificar problemas ou oportunidades; (iii) projeto: podem ser usados para projetar um sistema ou fenômeno novo ou modificado. Modelos conceituais podem ser construídos usando várias técnicas, incluindo diagramas, tabelas e texto. Um modelo conceitual de um banco de dados, por exemplo, pode representar os conceitos de tabela, coluna e registro. Independentemente do tipo, o modelo conceitual deve abstrair os detalhes específicos de implementação de um sistema ou fenômeno sob investigação, representar todos os conceitos fundamentais e as relações entre eles, representar todos os aspectos relevantes do sistema ou fenômeno, não possuir contradições internas e ser adaptável a diferentes propósitos.

3. Processo de Construção do Modelo Conceitual

A elaboração do modelo conceitual foi baseada em um processo estruturado em três etapas: (i) coleta de dados: um mapeamento sistemático foi realizado para coletar evidências da literatura e compor o modelo utilizando os dados extraídos [Morais et al. 2023]²; (ii) análise: a análise dos dados coletados foi realizada sem suposições ou generalizações baseadas em experiências pessoais ou crenças, com o objetivo de identificar os conceitos e relações neles contidos; (iii) construção do modelo conceitual: um modelo conceitual foi construído, com o objetivo de representar visualmente os conceitos, categorias e relações identificados na etapa anterior.

Após a leitura dos estudos e análise dos dados, o modelo conceitual foi concebido com base nos conceitos extraídos por meio de um processo definido pela GT, denominado codificação manual aberta e axial. A construção do modelo conceitual é um sub-processo também estruturado em outras sub-etapas baseadas na GT, definido nas etapas a seguir: (i) codificação aberta: nesta etapa, o processo de codificação aberta foi utilizado para identificar conceitos por meio de palavras ou frases recorrentes no estudo; (ii) codificação axial: após a anterior, a codificação axial foi utilizada para organizar os conceitos em categorias; (iii) identificação de relações: nesta etapa, os códigos identificados na primeira puderam ser agrupados em categorias ligadas por um eixo que conecta os conceitos. Palavras ou frases indicaram uma conexão entre dois ou mais conceitos e suas categorias.

Para aplicar os processos acima, foram selecionados doze estudos relacionados ao tema Governança de SoS. Eles compartilham a característica comum de **propor frameworks para Governança em SoS**. A escolha por esse tipo de estudo se justifica pelo fato de 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. Embora não tenham o mesmo objetivo e características que os modelos conceituais, assume-se que possam servir de referência para a sua construção. Enquanto os modelos conceituais são utilizados para comunicar a visão de um sistema para as partes interessadas, os *frameworks* são utilizados para facilitar a sua construção. Portanto, estudos que propõem *frameworks* têm o potencial para engenharia reversa de modelos.

Os doze estudos selecionados foram escolhidos por meio de uma string de busca aplicada às seguintes fontes de pesquisa: ACM Digital Library (expandida para ACM Guide to Computing Literature)³, IEEE Xplore⁴, Scopus⁵, Engineering Village⁶, Web of Science⁷ e Google Scholar⁸. A escolha dessas bases de dados é justificada pela sua relevância, reputação e representatividade no campo da computação em geral, e especificamente nas áreas de Governança, SoS e sua interseção. Para alcançar o mais alto nível de abrangência e relevância nos resultados, a seguinte *string* de busca foi definida, onde as palavras-chave foram conectadas por operadores lógicos (AND e OR): ("governance"OR "compliance") AND ("systems-of-systems"OR

²Estudo submetido aguardando resposta.

³<https://dl.acm.org/>

⁴<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

⁵<https://www.scopus.com/home.uri>

⁶<https://www.engineeringvillage.com/home.url?redir=t>

⁷<https://www.webofscience.com/wos>

⁸<https://scholar.google.com.br/>

"system-of-systems"OR "systems of systems"OR "system of systems").

A pesquisa foi realizada em Agosto/2023 de forma automatizada, sem filtro temporal, e aplicada a metadados (título, resumo e palavras-chave). O resultado da aplicação da *string*, utilizando método de busca definido em Kitchenham [Kitchenham and Charters 2007], levou à seleção dos seguintes estudos: [Vaneman and Jaskot 2013], [Bera and Pasala 2012], [Katina et al. 2019a], [Oon Ling et al. 2019], [Chebbi et al. 2023], [Qaddoumi et al. 2018a], [Carturan and Goya 2019], [Sloane et al. 2008], [Rudolph et al. 2012], [Darabi et al. 2012], [Qaddoumi et al. 2018b] e [Payne et al. 2020]. Após submeter os estudos selecionados aos processos definidos nesta seção, foram identificados seus principais conceitos, categorias e relações, a partir dos quais foi proposto um modelo conceitual (Figura 1). Este modelo foi criado a partir da análise qualitativa dos conceitos, categorias e relações identificadas. Todos os conceitos foram agrupados em categorias com base na similaridade ou diferença nos dados. Posteriormente, foram identificadas relações entre as categorias, abrangendo causalidade, associação ou coexistência. Por fim, foi realizado um refinamento, envolvendo modificações nas categorias e relações.

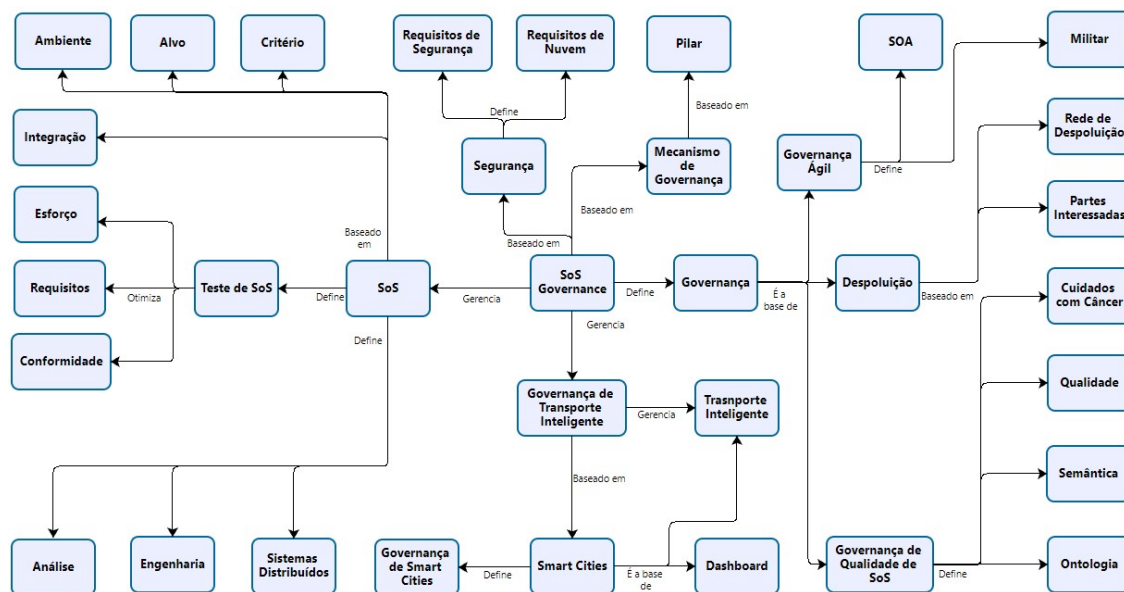


Figura 1. Proposta de Modelo Conceitual para Governança de SoS

4. Discussão e Trabalhos Relacionados

Após identificar os conceitos, categorias e relações entre conceitos em cada estudo, foi desenvolvida uma proposta de modelo conceitual (Figura 1). O objetivo principal do modelo proposto é servir como uma representação abstrata dos conceitos, categorias e relações existentes atualmente na área de Governança de SoS. Isso é importante porque tem o potencial de servir como referência para criação de outros modelos mais específicos relacionados a diferentes contextos. Também pode servir como base para a proposição de novas estruturas aplicáveis em diversas áreas de SoS, já que os modelos conceituais podem fornecer uma visão geral da estrutura e seus componentes. As estruturas, por sua vez, podem facilitar o desenvolvimento de propostas de Governança de SoS, representando um

avanço em uma área com poucas propostas disponíveis. Além disso, o modelo proposto pode ser utilizado para fornecer uma visão geral de um domínio de conhecimento ou campo de pesquisa, facilitando a comunicação entre pesquisadores, comparando diferentes modelos e identificando lacunas de pesquisa.

Trabalhos Correlatos. Gonçalves [Gonçalves et al. 2014] propõe um modelo conceitual geral para SoS Intensivos em Software (SiSoS). Graciano Neto et al. [Graciano-Neto et al. 2015] aborda o desafio de desenvolver SoS por meio de Desenvolvimento Orientado a Modelos (MDD), com um proposta de um modelo conceitual que descreve os principais conceitos e relações do MDD para SoS. Damm [Damm and Vincentelli 2015] propõe um modelo conceitual para entender e gerenciar SoS, incorporando conceitos relacionados à arquitetura, governança e ciclo de vida de SoS. Embora existam tais trabalhos propondo modelos conceituais no domínio de SoS, não foram encontradas propostas específicas para Governança de SoS.

5. Considerações Finais

Este artigo apresenta uma proposta de modelo conceitual para Governança de SoS, oferecendo uma visão geral da área. Ele captura uma coleção de conceitos e suas relações por meio de um modelo conceitual, proposto com base na análise de doze outros estudos usando princípios de *Grounded Theory* (GT). As contribuições deste estudo incluem (i) Identificação de estudos e *frameworks* relacionados à Governança de SoS; (ii) Identificação de conceitos-chave relacionados ao campo, categorias e suas relações; (iii) Identificação de trabalhos relacionados; e (iv) Proposta de um modelo conceitual. Os trabalhos futuros incluem: (i) Refinamento do modelo; (ii) Instanciação do modelo; (iii) Proposição de *frameworks* baseados no modelo.

Uma limitação desta investigação é o número relativamente pequeno de estudos analisados, sendo doze estudos considerados com base no protocolo, o que poderia questionar a força da evidência estatística dos dados coletados, além do viés na seleção de termos, cujo risco será mitigado com a avaliação do modelo por especialistas, que será feita como trabalho futuro, por meio da instanciação do modelo proposto no Tribunal de Justiça do Estado de Goiás. No entanto, foi possível observar que os estudos selecionados representam a totalidade dos estudos primários disponíveis na área de Governança de SoS com *frameworks* propostos. Existem outros estudos relevantes na área listados em Morais [Morais et al. 2023], porém com outras propostas. Espera-se que este estudo contribua para o campo de SoS, especialmente a Governança de SoS, fornecendo um ponto de partida para novas pesquisas.

Referências

- Alampalli, S. and Pardo, T. (2014). A study of complex systems developed through public private partnerships. In *8th ICEGOV*, page 442–445, Guimaraes, Portugal. ACM.
- Bera, P. and Pasala, A. (2012). A framework for optimizing effort in testing of system of systems. In *ICSEM 2012*, pages 136–141.
- Carturan, S. B. O. G. and Goya, D. H. (2019). A systems-of-systems security framework for requirements definition in cloud environment. In *13th ECSA*, page 235–240, Paris. ACM.
- Cebbi, M., Chapurlat, V., Wienin, J.-S., Aprin, L., and Girones, P. (2023). A proposal for system of systems organization and governance: application to a depollution network. In *2023 SoSe*, pages 1–7.

- Damm, W. and Vincentelli, A. S. (2015). A conceptual model of system of systems. SWEC '15, page 19–27, Seattle, Washington. ACM.
- Darabi, H. R., Gorod, A., and Mansouri, M. (2012). Governance mechanism pillars for systems of systems. In *2012 SoSE*, pages 374–379.
- Gonçalves, M. B., Cavalcante, E., Batista, T., Oquendo, F., and Nakagawa, E. Y. (2014). Towards a conceptual model for software-intensive system-of-systems. In *IEEE SMC*, pages 1605–1610.
- Graciano-Neto, V., Guessi, M., Bueno, L., Oliveira, L., Oquendo, F., Garcés, L., and Nakagawa, E. (2015). A conceptual map of model-driven development for systems-of-systems. WDES, pages 1–5. SBC.
- 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 WASHES*.
- Katina, P., Keating, C., Bobo, J., and Toland, T. (2019a). A governance perspective for system-of-systems. *Systems*, 7:54.
- Katina, P. F., Keating, C. B., Bobo, J. A., and Toland, T. S. (2019b). A governance perspective for system-of-systems. *Systems*, 7(4).
- Keating, C. B. and Bradley, J. M. (2015). Complex system governance reference model. *Int. J. Syst. Syst. Eng.*, 6:33–52.
- Keating, J. P. and Katina, P. (2019). Complex system governance: Concept, utility, and challenges. *Systems Research and Behavioral Science*, 36(2):262–277.
- Kitchenham, B. and Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. EBSE Technical Report EBSE 2007-001, Keele University and Durham University Joint Report.
- Maier, M. W. (1998). Architecting principles for systems-of-systems. *Systems Engineering*, 1(4):267–284.
- Morais, E. A. M., de Lima, E. A., and Graciano-Neto, V. V. (2023). Governança de sistemas-de-sistemas: Um mapeamento sistemático. In *Submetido a iSys*.
- Nielsen, C. B., Larsen, P. G., Fitzgerald, J., Woodcock, J., and Peleska, J. (2015). Systems of systems engineering: Basic concepts, model-based techniques, and research directions. *ACM Comput. Surv.*, 48(2).
- Novak, J. and Cañas, A. (2006). The theory underlying concept maps and how to construct them.
- Oon Ling, L., Tay, R., Too, S., and Gorod, A. (2019). A smart city transportation system of systems governance framework: A case study of singapore. pages 37–42.
- Payne, B., Ling, L. O., and Gorod, A. (2020). Towards a governance dashboard for smart cities initiatives: a system of systems approach. In *2020 SoSE*, pages 587–592.
- Qaddoumi, E., Odeh, M., Khan, Z., Kossmann, M., Tbakhi, A., and Mansour, A. (2018a). A semantically-enriched quality governance framework for systems of systems applied to cancer care. In *2018 CCI*, pages 15–24.
- Qaddoumi, E., Odeh, M., Khan, Z., Kossmann, M., Traish, I., and Tbakhi, A. (2018b). Ontos.qm.gov: A quality governance framework for systems of systems.
- 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 SoSE*, pages 173–178.
- 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 *2008 IEEE SysCon*, pages 1–4.
- Vaneman, W. K. and Jaskot, R. D. (2013). A criteria-based framework for establishing system of systems governance. In *2013 IEEE SysCon*, pages 491–496.