ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Influência da complexidade na gestão da segurança e produção da construção: uma revisão da literatura

Influence of complexity on safety and production management in construction: a literature review

Hugo Sefrian Peinado
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | hugospeinado@gmail.com
Dayana Bastos Costa
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | dayanabcosta@ufba.br
Tarcisio Abreu Saurin
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | saurin@ufrgs.br

Resumo

Embora a complexidade seja um tópico crítico na gestão da construção, há uma lacuna na literatura referente à sistematização de fontes de complexidade e como gerenciá-las. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo identificar fontes de complexidade que influenciam requisitos relacionados à segurança e à produção na fase de construção e as técnicas sugeridas para o seu gerenciamento. A estratégia de pesquisa adotada foi a revisão sistemática da literatura. A partir da análise das 25 unidades de caso, foram identificadas fontes de complexidade técnica, organizacional e ambiental. As estratégias para a gestão das fontes de complexidade incluíram a comunicação entre as partes envolvidas no empreendimento e gestão de mudanças. Esse estudo proporciona uma visão geral sobre os fatores de complexidade na construção de edificações e destaca oportunidades de pesquisas futuras, como a análise do efeito combinado dos fatores de complexidade e o desenvolvimento de estratégias com foco na resiliência.

Palavras-chave: Complexidade do empreendimento. Construção Civil. Resiliência.

Abstract

Although complexity is a critical topic in construction management, there is a gap in the literature regarding the systematization of complexity sources and how to manage them. Thus, this study aims to identify sources of complexity that influence requirements related to safety and production in the construction phase and the suggested management techniques. The research strategy adopted was a systematic literature review. From the analysis of 25 case units, technical, organizational, and environmental complexity sources were identified. Strategies for managing these complexity sources included communication among stakeholders and change management. This study provides a comprehensive view of complexity factors in building construction and highlights opportunities for future research, such as analyzing the combined effects of complexity factors and developing strategies focused on resilience.

Keywords: Project complexity. Civil Construction. Resilience.

Como citar:
PEINADO, H.S.; COSTA, D.B.; SAURIN, T.A. Influência da complexidade na gestão da segurança e produção da construção: uma revisão da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

A complexidade de um empreendimento pode ser definida como a propriedade que dificulta a compreensão, previsão e controle do seu comportamento geral, mesmo que haja informações detalhadas sobre esse sistema [1]. As características de sistemas complexos são o grande número e as interações dinâmicas entre os elementos (trabalhadores, equipamentos e procedimentos são alguns exemplos) [2][3], grande diversidade de elementos [2][3], variabilidade imprevista e resiliência [3]. Empreendimentos de construção apresentam elementos que contribuem para a complexidade do sistema [4-13], como as diversas disciplinas técnicas envolvidas, número elevado de tarefas e interdependência entre elas e grande número de partes envolvidas (internas e externas).

Empreendimentos de construção frequentemente apresentam baixas taxas de sucesso em relação ao atendimento de requisitos de segurança e produção na construção, como prazo e custo previstos, sequenciamento das atividades de produção [13][14] e planejamento da segurança no trabalho [15]. Essas falhas são em parte decorrentes do uso de práticas gerenciais que não reconhecem a complexidade dos empreendimentos [13][14][16].

Os fatores de complexidade podem ser entendidos como elementos ou causas que, ao atuarem em conjunto, contribuem com a complexidade do empreendimento [17]. Essas fontes de complexidade são frequentemente analisadas na literatura de gestão de projetos a partir de três categorias: técnica, que se refere às complexidades relacionadas ao escopo e tecnologias do empreendimento; organizacional, que envolve as complexidades relacionadas à organização interna do empreendimento; ambiental, que representa as complexidades relacionadas aos fatores externos que influenciam o empreendimento [16][18]. Fundamentados nessas categorias, foi desenvolvido o TOE *framework* [16], que dá suporte à identificação dos fatores de complexidade em empreendimentos de engenharia.

Os fatores de complexidade que influenciam nos requisitos são dependentes do contexto daquele empreendimento [1][13]. Nesse sentido, a literatura ressalta a necessidade de que os gestores compreendam as diferentes fontes de complexidade que influenciam seu empreendimento [14][18] e desenvolvam estratégias de gestão da complexidade para alcançar o sucesso do empreendimento [14][19][20]. [21] estabelecem um conjunto de prescrições que respaldam a elaboração de estratégias para gestão de sistemas complexos com a finalidade de criar um ambiente que dê suporte à resiliência, como antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças e encorajar a diversidade de perspectivas na tomada de decisão.

Apesar da existência de artigos de revisão sistemática endereçados à temática da complexidade na construção [22][23], não há na literatura a sistematização dos fatores de complexidade que influenciam requisitos de segurança e produção na construção de empreendimentos e quais as estratégias utilizadas para gestão dessas fontes de complexidade. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo identificar as fontes de complexidade em empreendimentos de construção já documentados a partir de

pesquisas científicas e as estratégias utilizadas para gestão dessas fontes de complexidade. Com isso, buscou-se contribuir com a literatura consolidando o conhecimento existente sobre os fatores de complexidade que influenciaram o atendimento de requisitos de segurança e produção de empreendimentos de construção e os meios utilizados para gerenciá-los, além da identificação de lacunas a serem exploradas em pesquisas futuras.

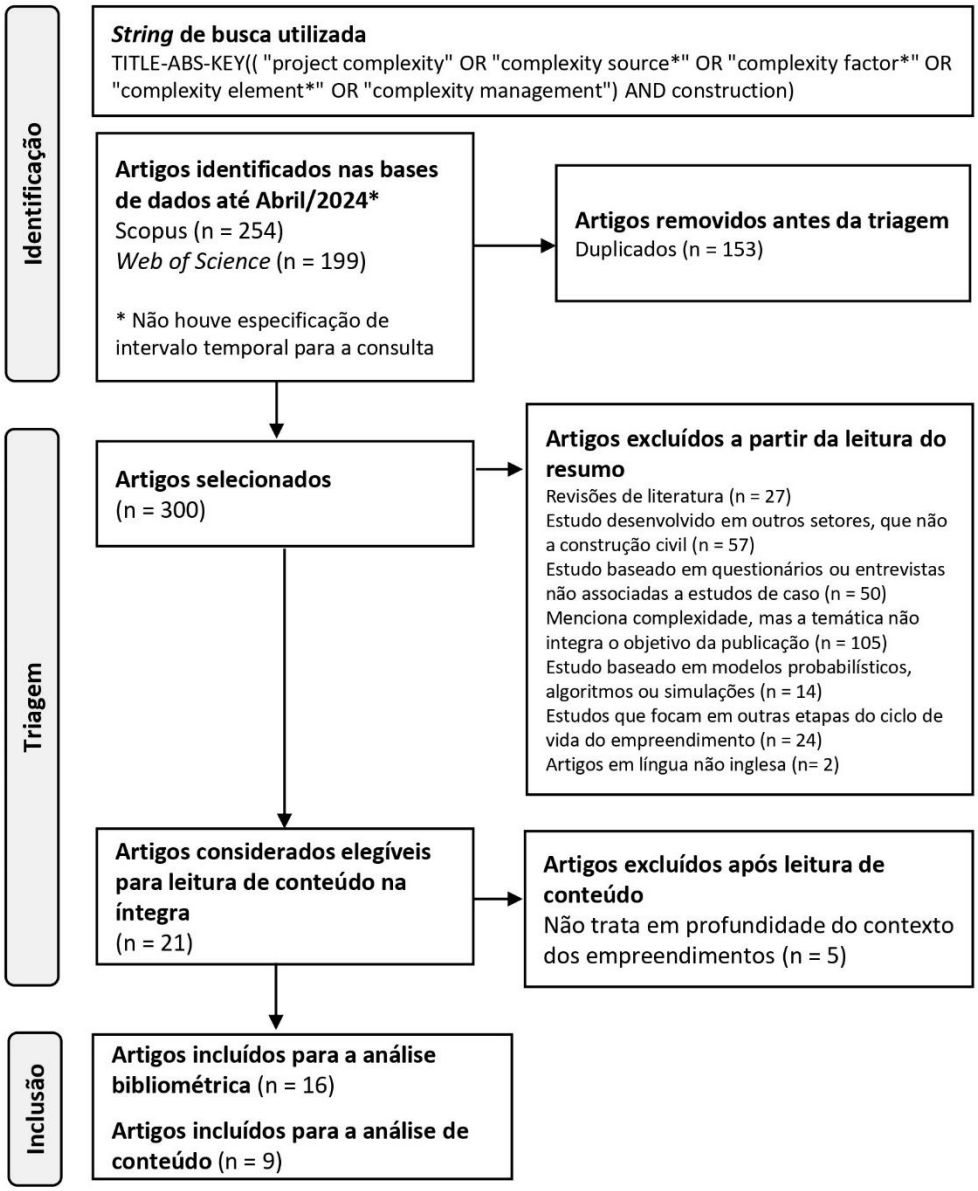
MÉTODO

A estratégia adotada para a condução da pesquisa foi a Revisão Sistemática da Literatura (RSL). RSL consiste em um método relevante para sumarizar pesquisas existentes e identificar potenciais lacunas a serem exploradas em pesquisas futuras [24]. A RSL foi conduzida de acordo com as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) [25], com a formatação do diagrama baseado no estabelecido por PRISMA [26] (Figura 1).

A busca foi limitada a artigos em inglês publicados em periódicos indexados nas bases de dados Scopus e *Web of Science*. Considerando que as informações relacionadas aos fatores contextuais são fundamentais para a análise da complexidade dos empreendimentos, foi adotado como critério de inclusão artigos que adotaram estudo de caso como estratégia de pesquisa. Os critérios de exclusão utilizados na etapa de triagem são apresentados na Figura 1.

As unidades de caso foram classificadas em obras de edificações e obras de infraestrutura. Para a análise bibliométrica, que envolveu número de artigos publicados e de unidades de caso analisadas por ano, foram considerados os artigos que envolviam estudos de caso de qualquer tipo de obra. A análise de conteúdo envolveu a identificação das fontes de complexidade que influenciaram em requisitos de segurança e produção de empreendimento e as estratégias para gerenciá-las. Nessa etapa, foram tratados apenas dos estudos de caso de obras de edificações, de forma que fosse possível observar potenciais diferenças e similaridades nessa categoria. Essa etapa envolveu a análise completa dos artigos, que ocorreu em duas rodadas para garantir a compilação integral dessas informações. A categorização dos fatores de complexidade para análise seguiu a estrutura do TOE *framework* [16].

Figura 1: Protocolo da RSL



Fonte: os autores.

RESULTADOS

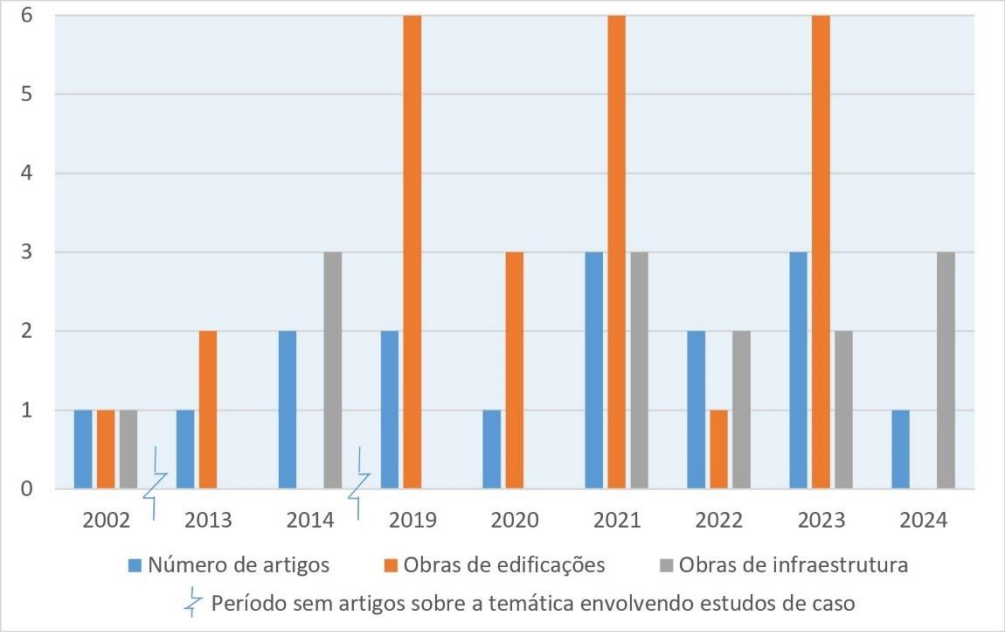
Esse tópico contempla a análise bibliométrica, a caracterização das unidades de caso analisadas, as fontes de complexidade técnica, organizacional e ambiental identificadas e as estratégias desenvolvidas para gestão dessas fontes de complexidade.

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Os artigos identificados na pesquisa e os tipos de obras analisados nos estudos de caso presentes nesses artigos têm sua distribuição temporal indicada na Figura 2. Os artigos analisaram em profundidade os fatores de complexidade que influenciaram requisitos de segurança e produção de 39 obras de construção, sendo 25 obras de edificações

(edifícios residenciais, comerciais ou mistos, hospitais e píer de aeroporto) [4-12] e 14 obras de infraestrutura (ferrovias, metrôs, rodovias e infraestrutura de aeroportos) [7][27-33].

Figura 2: Distribuições dos artigos



Fonte: os autores.

Os 16 artigos identificados foram publicados em periódicos distintos, tendo apenas um periódico com duas publicações ao longo do tempo (*Journal of Management in Engineering*, em 2013 e 2022).

CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE CASO IDENTIFICADAS A PARTIR DA LITERATURA

As 25 unidades de caso de obras de edificações identificadas na literatura são sistematizadas no Quadro 1. Essas unidades são apresentadas associadas aos requisitos tratados nos estudos, que são: sequenciamento das atividades da produção (SAP), prazo de realização das atividades (P), custo das atividades (C) e segurança no trabalho (ST).

Quadro 1: Unidades de caso identificadas na literatura (continua)

Requisitos	Unidade de caso	Tipo de obra	Referência	País
SAP	1	Centro de conferências	[4]	África do Sul
	2	Instalação de ciência e pesquisa		
	3	Edificação residencial		
P	4 – 9	Hospital	[5]	China
	10	Terminal aeroportuário	[6]	Alemanha
	11	Hospital	[7]	Australia

Quadro 1: Unidades de caso identificadas na literatura (continuação)

Requisitos	Unidade de caso	Tipo de obra	Referência	País
SAP, P e C	12	Prédio comercial	[8]	Egito
	13	Conjunto de fábricas e moinhos		
	14	Conjunto habitacional		
	15-16	Hospital	[9]	Finlândia
	17-18	Hospital		Suécia
	19	Hospital		EUA
	20	Edificação comercial	[10]	EUA
	21	Estádio	[11]	Austrália
	22	Edificação residencial		
ST	23	Edificações residenciais	[12]	Brasil
	24	Armazéns para operações logísticas		Chile
	25	Edifício de uso misto (residencial e comercial)		

Fonte: os autores.

O estudo envolvendo a influência de fatores de complexidade no SAP de empreendimentos de construção analisou as mudanças de escopo durante a construção de três empreendimentos residenciais e comerciais. A pesquisa destacou os seis fatores de complexidade predominantes nessas obras que resultaram em alterações no SAP [4].

Os três artigos que trataram da influência dos fatores de complexidade no atendimento de prazo das atividades de empreendimentos de construção visaram: a análise dos fatores que impactaram no atendimento ao prazo previsto para a construção de seis edificações verticais pré-fabricadas [5]; a análise da influência de fatores de complexidade no cronograma, no progresso e finalização da construção da expansão de um terminal aeroportuário [6]; a identificação de como o planejamento e o controle efetivo contribuíram com a flexibilidade ao lidar com problemas inesperados na construção de um hospital [7].

Os quatro estudos que analisaram os fatores de complexidade associados ao SAP, prazo e custo envolveram: a identificação de fatores de complexidade que influenciaram no atendimento ao SAP, custo e prazo de três empreendimentos [8]; a análise das mudanças no SAP na construção de cinco hospitais, que resultam em impacto no prazo e custos [9]; a análise da influência de equipes multifuncionais (compostas por diferentes especialidades) no SAP, prazo e custo de um empreendimento [10]; a avaliação da influência dos fatores de complexidade na eficiência da comunicação entre as partes envolvidas do empreendimento de dois empreendimentos de construção [11].

Um artigo investigou a influência de complexidade na segurança em três empreendimentos de construção [12].

FATORES DE COMPLEXIDADE IDENTIFICADOS NOS ESTUDOS DE CASO ANALISADOS

Entre os 14 fatores técnicos, nove organizacionais e oito ambientais identificados como influentes na segurança e na produção de empreendimentos em construção, os seis fatores mais frequentemente observados para cada uma dessas categorias são destacados nos Quadros 2, 3 e 4, respectivamente. Esses fatores são associados aos requisitos de segurança e produção na construção de empreendimentos considerados na análise de cada unidade de caso. Na sequência, são abordados os dois fatores de complexidade mais recorrentes nos estudos em cada uma das categorias.

Quadro 2: Fatores de complexidade técnica identificados nos estudos analisados

Requisitos	**SAP**	**P**				**SAP, P e C**							**ST**			**Total de casos**
Fator de complexidade técnica / Unidade de caso	1-3	4-7	8,9	10	11	12	13	14	15-19	20	21	22	23	24	25	
Dependências entre as tarefas	X	X	X	X					X		X		X			17
Incertezas no escopo	X				X			X	X	X	X			X		13
Tamanho e condições do local/canteiro	X				X	X			X							10
Uso de novas tecnologias		X	X				X				X	X				9
Elevado número de tarefas		X	X	X												7
Incerteza nos métodos									X							5
Σ Número de fatores	3	3	3	2	2	1	1	1	4	1	3	1	1	1	0	- / 61

Fonte: os autores.

Nos 17 casos em que a dependência entre as tarefas foi destacada como um fator de complexidade técnica, houve impacto negativo nos requisitos analisados, como: impacto no prazo em função das mudanças no escopo de serviços durante a execução, uma vez que não houve tempo hábil para adequar os projetos e instruir as equipes das atividades que viriam posteriormente [4]; impacto na segurança no trabalho em função da detecção tardia de interdependência entre atividades que resultou em retrabalhos e, portanto, na execução desses serviços sem o planejamento e o controle adequado da segurança [12].

Em 13 unidades de caso, observou-se que as incertezas no escopo resultaram em impactos negativos no SAP, no prazo, no custo e na segurança do trabalho de empreendimentos em função de mudanças constantes nos projetos ou de projetos incompletos [4][7][8][9][12].

Quadro 3: Fatores de complexidade organizacional identificados nos estudos analisados

Requisitos	**SAP**	**P**				**SAP, P e C**							**ST**			**Total de casos**
Fator de complexidade organizacional / Unidade de caso	1-3	4-7	8,9	10	11	12	13	14	15-19	20	21	22	23	24	25	
Métodos de entrega do empreendimento (*project delivery systems*)		X	X	X	X				X	X						14
Tamanho da equipe do empreendimento			X	X	X				X	X	X					10
Disponibilidade de recursos e habilidades	X			X			X						X	X	X	8
Interfaces entre diferentes disciplinas				X					X		X					7
Alta pressão no cronograma do empreendimento									X							5
Confiança na equipe do empreendimento	X													X	X	5
Σ Número de fatores	2	1	2	4	2	0	1	0	4	2	2	0	1	2	2	- / 49

Fonte: os autores.

O método de entrega do empreendimento foi observado como um fator de complexidade em 14 unidades de caso. Quando adotado o *Design-Bid-Build* (DBB - método tradicional), em que o cliente possui maior controle sobre o projeto e a construção e são contratadas separadamente empresas de projeto e empresas de construção, observou-se impacto negativo desse fator de complexidade principalmente no prazo do empreendimento [5][7], mas também no SAP e custo [9]. O impacto negativo está associado à falta ou dificuldade de comunicação entre as equipes de projeto e de execução do empreendimento. Quando foi adotada contratação integrada (*Design-Build* - DB) [6], *engineering-procurement-construction* (EPC) [5] ou *Integrated Project Delivery* (IPD) [4][10], em que há integração entre as equipes de projeto e execução do empreendimento, foram observados impactos positivos sobre o SAP, prazo e custo.

O tamanho da equipe do empreendimento foi apontado como fator de complexidade em dez unidades de caso. Foi observado impacto negativo no prazo principalmente em função do grande número de subempreiteiros [6][7] e da falta de incentivo de gestores e clientes em viabilizar o diálogo entre essas equipes [7].

Quadro 4: Fatores de complexidade ambiental identificados nos estudos analisados

Requisitos	**SAP**	**P**				**SAP, P e C**							**ST**			**Total de casos**
Fator de complexidade ambiental / Unidade de caso	1-3	4-7	8,9	10	11	12	13	14	15-19	20	21	22	23	24	25	
Dependências de partes interessadas externas				X	X			X	X		X					9
Interferência com o local ou serviços existentes	X			X											X	5
Variedade de perspectivas das partes interessadas externas									X							5
Influência política				X				X						X		3
Número de partes interessadas externas					X						X					2
Condições do clima													X			1
Σ Número de fatores	1	0	0	3	2	0	0	2	2	0	2	0	1	1	1	- / 25

Fonte: os autores.

A dependência das partes interessadas externas foi percebida como um fator de complexidade em nove unidades de caso. Destaca-se o impacto negativo no prazo a partir da dependência expressiva dos clientes (em função do método tradicional de entrega do empreendimento adotado), o que atrasou substancialmente os processos de tomada de decisão de projeto e construção [7][9].

Interferência com o local foi percebida em cinco unidades de caso, com impactos negativos sobre SAP, prazo e segurança no trabalho. Ressalta-se que, como a construção nas instalações do aeroporto afetaram o tráfego aéreo e de outros meios de transporte nas proximidades, houve a necessidade de trabalhos adicionais não previstos que impactaram negativamente o SAP e o prazo [6].

Considerando os seis fatores mais recorrentes para cada uma das categorias analisadas, o presente estudo mostrou maior número de fatores de complexidade técnica (61) percebidos como influentes nos requisitos de produção e segurança analisados, seguido dos fatores de complexidade organizacional (49) e ambiental (25).

A partir dos estudos analisados, observou-se que as obras residenciais, comerciais e educacionais (unidades de caso 1-3, 12, 14, 20, 22, 23 e 25) apresentaram entre um e seis fatores de complexidade influenciando os requisitos analisados, enquanto instalações industriais (13 e 24) apresentaram dois e quatro fatores, hospitais (4-6, 8, 9, 11, 15-19) apresentaram entre quatro e dez fatores, estádio (21) apresentou sete fatores e a expansão de terminal aeroportuário (10) apresentou nove fatores. As obras dos hospitais 15 a 19 tratadas no estudo [9] apresentaram dez fatores de complexidade influenciando o SAP, tempo e custo dos empreendimentos, o que configurou o maior número de fatores entre os estudos analisados. Em seguida, tem-se a obra da expansão do terminal aeroportuário [12], que apresentou nove fatores de complexidade com influência analisada apenas sobre o prazo. A partir desses dados, é possível observar que a quantidade e a diversidade de fatores de complexidade

variam significativamente em função do tipo de empreendimento de construção e dos requisitos avaliados.

ESTRATÉGIAS PARA GESTÃO DAS FONTES DE COMPLEXIDADE

A literatura recomenda a adoção de métodos que considerem a contratação de uma única entidade para projeto e construção, como contratação integrada (DB) e EPC, ou contratos multiparte que integrem as partes envolvidas desde o início do empreendimento, como o IPD e alianças colaborativas. Essas modalidades possibilitam por natureza a maior integração e a comunização entre as diferentes equipes, viabilizando mecanismos de coordenação e consistência nos processos e redução dos impactos negativos em requisitos da produção e segurança de empreendimento a partir das diferentes fontes de complexidade [4][5]. Nesse sentido, [12] aponta a necessidade de lidar com as fontes de complexidade que não podem ser eliminadas pelo *design* do sistema, por meio do desenvolvimento dos quatro potenciais para resiliência (habilidade de responder, monitorar, antecipar e aprender).

Associado a essa estratégia, a literatura aponta a necessidade de desenvolver e aperfeiçoar mecanismos de comunicação entre as partes envolvidas [7], adotando preferencialmente tecnologias de informação e comunicação, como modelagem da informação da construção (BIM) e computação em nuvem [5]. Há a necessidade de elaboração de uma estratégia de comunicação alinhada ao nível de complexidade do empreendimento que foque tanto nas equipes envolvidas com o projeto e a execução do empreendimento como com as partes externas que influenciam o empreendimento, como clientes, órgãos diversos e vizinhança [11].

Associado ao método de entrega do empreendimento adotado, [10] também explora a estratégia de desenvolver equipes multifuncionais desde a etapa inicial de um empreendimento, envolvendo profissionais de projeto e da execução, de modo a garantir a colaboração dos diferentes participantes e alinhamento dos objetivos desde a concepção do empreendimento.

Por fim, como as mudanças no escopo de empreendimentos de construção ocorrerão inevitavelmente, seja por falhas em projeto [4][7][8][12] ou por alterações para atendimento às demandas emergentes de clientes [9], a literatura aponta para a necessidade de estabelecer processos bem definidos de gestão das mudanças no empreendimento [8][9]. Nesse contexto, a estratégia sugerida consiste na flexibilização de produto e de processo, de forma a garantir margem de manobra para as mudanças que ocorrerão no SAP [9].

DISCUSSÕES

Há um número limitado de estudos de caso que tratam da influência dos fatores de complexidade em requisitos de segurança e produção na construção de empreendimentos, com aumento do número desses estudos a partir de 2019 (Figura 2). Essa constatação está alinhada ao que foi identificado por [22], que identificaram aumento significativo na produção científica sobre a complexidade na construção a

partir de 2017. No entanto, nos estudos analisados, observa-se maior ênfase da influência da complexidade no SAP, prazo e custo de empreendimentos de construção [4-11], sendo apenas um estudo direcionado a influência da complexidade na segurança no trabalho [12]. Apesar de haver fontes de complexidade que influenciaram os quatro requisitos, não foram tratadas no mesmo estudo. Nesse sentido, há uma lacuna relativa à análise da influência dos fatores de complexidade nos diferentes requisitos, de modo que seja possível observar, por exemplo, se fontes que impactaram negativamente no prazo e no custo, impactaram positivamente ou negativamente na segurança no trabalho no empreendimento em construção.

Mesmo com a recorrência de alguns fatores de complexidade entre as unidades de caso, observa-se que parte significativa dos fatores variaram em função dos estudos e dos requisitos avaliados. O mesmo é constatado a partir da comparação dos resultados desse estudo com a pesquisa de [18], que evidencia diferenças entre os fatores recorrentes nos empreendimentos dos respondentes. Esses resultados reforçam a necessidade de analisar os fatores de complexidade a partir do contexto do empreendimento de construção [13], que implica em considerar as circunstâncias específicas e as condições particulares de cada empreendimento.

Entre os estudos analisados, apenas [6] explorou a integração entre as fontes de complexidade técnica, organizacional e ambiental, constatando que o impacto sobre os requisitos de produção analisados ocorreu a partir da combinação das fontes de complexidade. A literatura aponta que as fontes de complexidade que atuam em grupo devem receber atenção especial, de forma a minimizar os efeitos de grupo [33][34]. Nesse sentido, há a necessidade de avançar no desenvolvimento de estratégias que favoreçam a identificação das fontes de complexidade e de como a interrelação entre elas impacta nos requisitos de segurança e produção de empreendimentos em construção.

As estratégias exploradas para gestão das fontes de complexidade envolveram definição de métodos de entrega do empreendimento que favoreçam a comunicação e a colaboração entre as partes envolvidas no empreendimento, desenvolvimento dos potenciais para resiliência para lidar com a complexidade que não pode ser eliminada pelo *design* do sistema, comunicação entre as partes envolvidas no empreendimento, equipes multifuncionais e gestão de mudanças. Essas estratégias estão alinhadas a algumas das prescrições propostas por [21] para a gestão de sistemas complexos, como a antecipação e o monitoramento do impacto de pequenas mudanças e o encorajamento da diversidade de perspectivas para a tomada de decisão. No entanto, há a necessidade de avançar no desenvolvimento e aperfeiçoamento de estratégias associadas aos fatores de complexidade que deem suporte à resiliência do sistema.

Em função da análise individualizada das fontes de complexidade, as estratégias adotadas para gestão dessas fontes tiveram caráter pontual, como o desenvolvimento de equipes multifuncionais [10] e gestão das mudanças [8][9]. No entanto, a literatura reforça a necessidade de elaboração de uma abordagem personalizada para gestão dessas fontes de complexidade de forma mais abrangente, sem ignorar as interações

entre as fontes de complexidade e a influência nos requisitos de segurança e produção de empreendimentos [6][14].

CONCLUSÕES

O presente estudo contribuiu com o campo do conhecimento aos sistematizar diferentes fatores de complexidade técnica, organizacional e ambiental que influenciaram o sequenciamento das atividades de produção, prazo, custo e segurança no trabalho em empreendimentos de construção de edificações. Mesmo com o maior número de fontes de complexidade influenciando as obras de hospitais e da expansão de terminal aeroportuário (dez e nove, respectivamente), a quantidade e a diversidade de fatores de complexidade variaram significativamente em função do tipo de empreendimento de construção e dos requisitos de produção e segurança avaliados.

Foram também identificadas estratégias para gestão dessas fontes de complexidade. A partir dos resultados sistematizados, observa-se a necessidade de avançar em pesquisas que analisem a integração dos fatores de complexidade e a influência da ação conjunta desses fatores nos requisitos de segurança e produção na construção de empreendimentos. Além disso, ressalta-se a necessidade de avançar em pesquisas que busquem o desenvolvimento de estratégias para gestão da complexidade com o objetivo de aperfeiçoamento da resiliência do sistema.

O presente estudo teve sua análise limitada à complexidade em obras de edificações, não envolvendo a análise da influência dos fatores de complexidade em obras de infraestrutura. Nesse sentido, sugere-se que pesquisas futuras enderecem esforços a essa temática.

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Educação por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

[1] VIDAL, L. A.; MARLE, F.; BOCQUET, J. C. Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Project Management**, v. 29, n. 6, p. 718–727, 2011.

[2] CILLIERS, P. **Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems**. London: Routledge, 1998.

[3] SAURIN, T. A.; GONZALEZ, S. S. Assessing the compatibility of the management of standardized procedures with the complexity of a sociotechnical system: Case study of a control room in an oil refinery. **Applied Ergonomics**, v. 44, n. 5, p. 811–823, 2013.

[4] LUKHELE, T.; BOTHA, B.; MBANGA, S. Exploring project complexity relations to scope changes in construction projects: A case study of NEC projects in South Africa. **Construction Economics and Building**, v. 21, n. 2, p. 18–33, 2021.

[5] CHEN, Y.; ZHU, D.; TIAN, Z.; GUO, Q. Factors influencing construction time performance of prefabricated house building: A multi-case study. **Habitat International**, v. 131, 2023.

[6] ANDRINGA, L.; ÖKMEN, Ö.; LEIJTEN, M.; BOSCH-REKVELDT, M.; BAKKER, H. Incorporating Project Complexities in Risk Assessment: Case of an Airport Expansion Construction Project. **Journal of Management in Engineering**, v. 38, n. 6, 2022.

[7] WALKER, D. H. T.; SHEN, Y. J. Project understanding, planning, flexibility of management action and construction time performance: Two Australian case studies. **Construction Management and Economics**, v. 20, n. 1, p. 31–44, 2002.

[8] HOSSNY, H. E.; IBRAHIM, A. H.; ELNADY, A. Assessment of Construction Project Complexity. **The Open Civil Engineering Journal**, v. 15, n. 1, p. 414–423, 2021

[9] LAVIKKA, R. H.; KYRÖ, R.; PELTOKORPI, A.; SÄRKILAHTI, A. Revealing change dynamics in hospital construction projects. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 9, p. 1946–1961, 2019.

[10] LAURENT, J.; LEICHT, R. M. Practices for Designing Cross-Functional Teams for Integrated Project Delivery. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 3, p. 050190011–0501900111, 2019.

[11] SENESCU, R. R.; ARANDA-MENA, G.; HAYMAKER, J. R. Relationships between Project Complexity and Communication. **Journal of Management in Engineering**, v. 29, n. 2, p. 183–197, 2013.

[12] PEÑALOZA, G. A.; SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. Monitoring complexity and resilience in construction projects: The contribution of safety performance measurement systems. **Applied Ergonomics**, v. 82, 2020.

[13] CHAPMAN, R. J. A framework for examining the dimensions and characteristics of complexity inherent within rail megaprojects. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 6, p. 937–956, 2016.

[14] LUO, L.; HE, Q.; XIE, J.; YANG, D.; WU, G. Investigating the Relationship between Project Complexity and Success in Complex Construction Projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 33, n. 2, 2016.

[15] TRINH, M. T.; FENG, Y. Impact of Project Complexity on Construction Safety Performance: Moderating Role of Resilient Safety Culture. **Journal Of Construction Engineering And Management**, v. 146, n. 2, 2020.

[16] BOSCH-REKVELDT, M.; JONGKIND, Y.; MOOI, H.; BAKKER, H.; VERBRAECK, A. Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. **International Journal of Project Management**, v. 29, n. 6, p. 728–739, 2011.

[17] DURÓN-GONZÁLEZ, F. R.; RIVAS-TOVAR, L. A.; CÁRDENAS-TAPIA, M. Modelos para evaluar la complejidad de los proyectos de construcción de infraestructura. **Ingeniería**, v. 28, n. 1, p. e19021, 2022.

[18] BOSCH-REKVELDT, M.; BAKKER, H.; HERTOGH, M. Comparing project complexity across different industry sectors. **Complexity**, v. 2018, p. 1–15, 2018.

[19] KERMANSHACHI, S.; NIPA, T. J.; DAO, B. Development of complexity management strategies for construction projects. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 21, n. 6, p. 1633–1657, 2023.

[20] HAMERSKI, D. C.; SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. The contributions of the Last Planner System to resilient performance in construction projects. **Construction Management and Economics**, v. 42, n. 4, p. 328–345, 2024.

[21] SAURIN, T. A.; ROOKE, J.; KOSKELA, L. A complex systems theory perspective of lean production. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 19, p. 5824–5838, 2013.

[22] GHALEB, H.; ALHAJLAH, H. H.; ABDULLAH, A. A. BIN; KASSEM, M. A.; AL-SHARAFI, M. A. A Scientometric Analysis and Systematic Literature Review for Construction Project Complexity. **Buildings**, v. 12, n. 4, 2022.

[23] LAFHAJ, Z.; REBAI, S.; ALBALKHY, W.; HAMDI, O.; MOSSMAN, A.; ALVES DA COSTA, A. Complexity in Construction Projects: A Literature Review. **Buildings**, v. 14, n. 3, p. 680, 2024.

[24] KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Staffs: Keele University, 2004.

[25] LIBERATI, A.; ALTMAN, D. G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GØTZSCHE, P. C.; IOANNIDIS, J. P. A.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P. J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. **PLoS Medicine**, 2009.

[26] PRISMA. **PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only**, 2020. Disponível em: https://prisma-statement.org//PRISMAStatement/FlowDiagram. Acesso em: 02 mar. 2024.

[27] ALMADHOOB, H. Managing Large Projects: Is There a Way to Employ Informal Networks and People's Processes? **ISVS e-journal**, v. 10, p. 1–23, 2023.

[28] BRADY, T.; DAVIES, A. Managing structural and dynamic complexity: A tale of two projects. **Project Management Journal**, v. 45, n. 4, p. 21–38, 2014.

[29] CANTARELLI, C. C. Innovation in megaprojects and the role of project complexity. **Production Planning and Control**, v. 33, n. 9–10, p. 943–956, 2022.

[30] DAMAYANTI, R. W.; HARTONO, B.; WIJAYA, A. R. Project Managers' Perspectives on the Complexity of Construction Megaproject in Indonesia: A Multicase Study. **IEEE Engineering Management Review**, v. 49, n. 2, p. 153–171, 2021.

[31] DAVIES, A.; MACKENZIE, I. Project complexity and systems integration: Constructing the London 2012 Olympics and Paralympics Games. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 5, p. 773–790, 2014.

[32] JU, Q.; SUN, Y.; CHEN, R. An Approach for Measuring Complexity Degree of International Engineering Projects. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 12, 2023.

[33] SRUTHILAYA, D.; VILVENTHAN, A.; GOPAL, P. R. C. Analysis of project complexity factors and their interdependencies in metro rail projects. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 14, n. 2, p. 260–277, 2024.

[34] BAKHSHI, J.; IRELAND, V.; GOROD, A. Clarifying the project complexity construct: Past, present and future. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 7, p. 1199–1213, 2016.