

Felipe de Souza Soupinski

Morte de Ecossistemas de Software: causas, fases, estratégias e métricas

Campo Grande, MS

Julho, 2025

Felipe de Souza Soupinski

Morte de Ecossistemas de Software: causas, fases, estratégias e métricas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Faculdade de Computação, mantido pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para a defesa de Mestrado, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação (Área de Concentração: Engenharia de Software).

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS

Faculdade de Computação – FACOM

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Awdren de Lima Fontão

Coorientador: Prof. Dr. Igor Scaliante Wiese (UTFPR)

Campo Grande, MS

Julho, 2025

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais por possibilitarem a oportunidade de me mudar de Rondônia para o Mato Grosso do Sul. Por me ajudarem nesse processo, que me permitiu viver a experiência da UFMS, da FACOM, do LEDES. Agradeço todo o apoio que tive e por acreditarem em mim e no meu sonho.

Agradeço aos meus amigos, minha segunda família. Esses estiveram comigo em momentos bons e ruins. Me apoiaram quando precisei de apoio. Me criticaram construtivamente visando meu bem. O apoio emocional - conversar, descontraír em momentos de tensão - foi de grande ajuda para conseguir lidar com pressões.

Agradeço ao meu orientador, Awdren Fontão, que desde a iniciação científica tem me ajudado a entender pesquisa científica e Engenharia de Software. Tive o prazer de acompanhar sua trajetória aqui na UFMS. Um profissional que veio para agregar, e muito! Em pouco tempo assumiu o controle do LEDES e montou uma rede de alunos/pesquisadores competentes. Ajudou a colocar a UFMS no ranking de top instituições de Engenharia de Software na América do Sul! Conviver e trabalhar com profissionais qualificados e motivados sempre foi um dos meus objetivos; obrigado por me ajudar nessa jornada e confiar em mim. Sou eternamente grato.

Agradeço ao meu coorientador, Igor Wiese, que já me ajudava na iniciação científica e topou me ajudar no mestrado. Tive a grande oportunidade de encontrá-lo em dois CBSOFT, conversar sobre coisas da vida e sobre a pesquisa. Me ajudou a entender e mapear diferenças entre ecossistemas de software e sistemas/comunidades. Além de toda a ajuda com ideias e textos da pesquisa. Muito obrigado, Wiese!

Agradeço ao LEDES por ser um ambiente rico em ensino, pesquisa e extensão. Os membros trocam experiências e se ajudam mutuamente. Por meio do LEDES comecei a trabalhar no projeto SIGFAP, o que me manteve financeiramente durante os anos do mestrado. Obrigado SIGFAP por me proporcionar conhecer pessoas especiais. No SIG tive a oportunidade de assumir uma frente de trabalho em desenvolvimento como analista técnico. Uma oportunidade espetacular para desenvolver habilidades técnicas, de gestão, de qualidade de software, entre outras. Obrigado SIGFAP e LEDES.

Agradeço a todos os pesquisadores e profissionais da indústria envolvidos nesta pesquisa. Agradeço ao tempo que investiram para responder o questionário da fase de avaliação. Estou ansioso para retornar os resultados para vocês e para a comunidade.

*“Aprender com os próprios erros é inteligência.
Aprender com os erros dos outros é sabedoria.
Dados e métricas nos dizem tanto nossos erros quanto o dos outros,
por isso são tão valiosos.”
(Felipe Soupinski)*

Resumo

Os Ecossistemas de Software (ECOS) dependem de plataformas que servem como ambientes para interação dos desenvolvedores. Quando a organização proprietária da plataforma não suporta a sinergia entre os objetivos organizacionais e as expectativas dos desenvolvedores, o ECOS pode morrer. A morte resulta na suspensão definitiva de atividades vitais, impactando diretamente os desenvolvedores, que perdem parte do aprendizado e da experiência adquirida. Projetos que dependem da plataforma do ECOS poderão ser descontinuados. Em última análise, a organização responsável perde os recursos investidos no desenvolvimento e manutenção do software e das comunidades. Assim, é importante compreender os sinais que podem indicar a morte de um ECOS. Neste mestrado, discutimos o conhecimento existente sobre a morte de ECOS e delineamos uma visão para complementar a pesquisa sobre o tema. Nossa visão de longo prazo é estabelecer pontos de referência em relação às causas, fases, estratégias e métricas em torno da morte de ECOS. Com base em um mapeamento multivocal da literatura (18 estudos acadêmicos e 19 documentos da indústria), foram identificadas cinco categorias principais de causas de morte: envelhecimento tecnológico, fatores sociais, falhas organizacionais, pressões competitivas e insustentabilidade financeira. O processo de morte segue quatro fases distintas: envelhecimento inicial, declínio manifesto, fase mórbida/crítica e fase terminal. A triangulação metodológica resultou em um catálogo de 47 grupos de métricas organizadas em dimensões social, técnica e de negócios. Validação empírica com 24 especialistas estabeleceu hierarquia de priorização: Capital Humano (31,0%), Sustentabilidade (26,6%), Competitividade (24,4%) e Fundação Técnica (20,6%). As métricas sociais predominaram (61,38% das seleções), com "Contributors and Active Developers" emergindo como métrica prioritária universal (28,79% das seleções). A pesquisa revelou consenso sobre métricas fundamentais e padrões de especialização contextual, onde diferentes desafios organizacionais geram demandas específicas por categorias de métricas, estabelecendo pontos de referência empiricamente validados para monitoramento de sinais vitais de ECOS.

Palavras-chaves: Ecossistemas de Software, Morte de plataforma, Morte de Ecossistema.

Abstract

Software Ecosystems (SECO) depend on platforms that serve as environments for developers interaction. When the organization that owns the platform does not support the synergy between organizational goals and developers' expectations, the SECO may die. The death results in the definitive suspension of vital activities, directly impacting developers, who lose part of the learning and experience gained. Projects that depend on the SECO platform may be discontinued. Ultimately, the responsible organization loses the resources invested in the development and maintenance of the software and communities. Thus, understanding the signs that may indicate a SECO death is important. In this master's project proposal, we discuss existing knowledge of SECO death and outline a vision to complement research on the topic. Our long-term vision is to establish benchmarks regarding causes, phases, strategies and metrics around SECO death. Based on a multivocal literature mapping (18 academic studies and 19 industry documents), five main categories of death causes were identified: technological aging, social factors, organizational failures, competitive pressures and financial unsustainability. The death process follows four distinct phases: initial aging, manifest decline, morbid/critical phase and terminal phase. Methodological triangulation resulted in a catalog of 47 metric groups organized in social, technical and business dimensions. Empirical validation with 24 experts established prioritization hierarchy: Human Capital (31.0%), Sustainability (26.6%), Competitiveness (24.4%) and Technical Foundation (20.6%). Social metrics predominated (61.38% of selections), with "Contributors and Active Developers" emerging as universal priority metric (28.79% of selections). The research revealed consensus on fundamental metrics and contextual specialization patterns, where different organizational challenges generate specific demands for metric categories, establishing empirically validated benchmarks for monitoring SECO vital signs.

Keywords: Software Ecosystem, Death Platform, Death Ecosystem.

Sumário

1	Introdução	9
1.1	Contextualização	9
1.2	Motivação e Justificativa	10
1.2.1	Métodos de Pesquisa	11
1.2.2	Fase de Concepção	12
1.2.3	Fase de Avaliação	13
1.3	Organização da Escrita	14
2	Referencial Teórico	16
2.1	Ecosistemas de Software	16
2.2	Ambientes de Colaboração	18
2.3	Relacionamento com Desenvolvedores	19
2.4	Saúde de Ecosistemas de Software	20
2.5	Morte de Ecosistema de Software	21
2.6	Reciclagem de Recursos	21
2.7	Pontos de Referências de Sinais Vitais de ECOS	22
2.8	Trabalhos Relacionados	23
3	Revisão Multivocal	25
3.1	Motivação e Método	25
3.2	Objetivo e Questões de pesquisa	26
3.3	Mapeamento Sistemático	27
3.3.1	Estratégia de pesquisa	27
3.3.2	Processo de seleção	28
3.3.3	Critérios de inclusão e exclusão	29
3.3.4	Artigos de controle	29
3.3.5	Execução	30
3.3.6	Extração e síntese de dados	31
3.3.7	Resultados	33
3.4	Mapeamento de Literatura Cinza	38
3.4.1	Estratégia de pesquisa	38
3.4.2	Critérios de inclusão e exclusão	39
3.4.3	Execução	39
3.4.4	Caracterização dos documentos selecionados	41
3.4.5	Resultados	42
3.5	Síntese Multivocal	46

3.5.1	Convergências	46
3.5.2	Divergências e Complementaridades	47
3.5.3	Síntese por Questão de Pesquisa	47
3.5.4	Contribuições da Perspectiva Multivocal	48
4	Catálogo de métricas	49
4.1	Motivação e Estratégia de Pesquisa	49
4.2	Execução	49
4.3	Definição Operacional de Métricas	50
4.4	Resultados	52
4.5	Conclusão	61
5	Pesquisa de Opinião	62
5.1	Introdução	62
5.2	Desenho Metodológico	62
5.2.1	Questões de pesquisa	62
5.2.2	Abordagem Geral	63
5.2.3	Desenvolvimento de Cenários Contextualizados	63
5.2.4	Instrumento de Coleta	70
5.2.5	Validação do Instrumento	71
5.3	Participantes e Coleta de Dados	71
5.3.1	Perfil dos Participantes	71
5.3.2	Crterios de Elegibilidade e Seleção	71
5.3.3	Processo de Coleta	72
5.3.4	Considerações Éticas	73
5.4	Discussão	73
5.4.1	QP3.1: Hierarquia de Priorização das Métricas	73
5.4.2	QP3.2: Influência dos Contextos Organizacionais	76
5.4.3	QP3.3: Distribuição por Dimensões e Indicadores	77
5.4.4	QP3.4: Análise por Cenário	78
5.4.4.1	Plataforma low-code madura em declínio de engajamento	78
5.4.4.2	Fragmentação em ecossistema de microserviços open source	78
5.4.4.3	Transição de modelo de licenciamento em IDE consolidado	79
5.4.4.4	Crescimento exponencial em plataforma de APIs	79
5.4.4.5	Evolução tecnológica e mudança geracional em framework front-end	79
5.4.4.6	Expansão global e desafios culturais em banco NoSQL	79
5.4.4.7	Crise de liderança e transferência de conhecimento em microserviços	80
5.4.4.8	Obsolescência tecnológica em banco NoSQL legado	80

5.4.4.9	Estagnação e desengajamento em framework front-end . . .	80
5.4.4.10	Crise de segurança e credibilidade em plataforma de cloud . . .	80
5.4.4.11	Desafios de governança em plataforma de desenvolvimento mobile	81
5.4.4.12	Sustentabilidade financeira em plataforma de IA	81
5.4.4.13	Sustentabilidade técnica em plataforma open source	81
5.4.4.14	Colaboração global em startup de tecnologia	81
5.4.4.15	Relevância tecnológica e adaptabilidade em ecossistema open source	82
5.4.4.16	Conclusão	82
5.4.5	Implicações Teóricas e Práticas	82
5.4.5.1	Implicações para Profissionais de Engenharia de Software . . .	83
5.4.5.2	Implicações para a Comunidade Científica de Engenharia de Software	83
5.4.5.3	Implicações para a Educação em Engenharia de Software . . .	84
5.5	Limitações e Validade	84
5.5.1	Ameaças à Validade	84
5.5.2	Validade dos Resultados	85
5.6	Conclusões	85
6	Conclusão	87
6.1	Considerações Iniciais	87
6.2	Contribuições	87
6.2.1	Contribuições Teóricas	87
6.2.2	Contribuições Práticas	88
6.2.3	Contribuições Metodológicas	88
6.3	Limitações	88
6.4	Trabalhos Futuros	89
6.5	Considerações Finais	90
7	Pacote de replicação	91
	Referências	92

1 Introdução

1.1 Contextualização

Ecosistemas de Software (ECOS) representam ambientes colaborativos onde atores diversos (p.ex: desenvolvedores, empresas e usuários) interagem através de plataformas tecnológicas compartilhadas (MANIKAS, 2016). Nesses ambientes digitais, os participantes não apenas consomem recursos, mas ativamente produzem e compartilham artefatos, criando uma rede dinâmica de valor mútuo. A plataforma central, mantida por organizações que podem ser privadas, open-source ou híbridas, serve como alicerce técnico e social para essas interações.

Empresas líderes como Amazon, Google e Microsoft demonstram o poder transformador dos ECOS. Essas organizações transcenderam o modelo tradicional de desenvolvimento de software ao criar plataformas que integram serviços, produtos e comunidades de desenvolvedores. O Android, ecossistema móvel da Google, exemplifica essa estratégia: uma plataforma que conecta fabricantes de dispositivos, desenvolvedores de aplicativos e bilhões de usuários em uma rede de criação de valor compartilhado.

O valor gerado em um ECOS emerge da convergência de três dimensões fundamentais: técnica, social e de negócios. A dimensão técnica engloba a infraestrutura da plataforma e sua evolução contínua. A dimensão social manifesta-se nas relações e no engajamento entre os stakeholders. A dimensão de negócios materializa-se através de modelos de monetização, estratégias de marketing e canais de distribuição (MOORE, 1996; HANDOYO; JANSEN; BRINKKEMPER, 2013; MANIKAS, 2016).

A vitalidade de um ECOS depende criticamente da manutenção contínua de sua plataforma central. Essa manutenção determina não apenas a estabilidade técnica, mas principalmente a atratividade do ecossistema para desenvolvedores e usuários (MANIKAS, 2016; MASSANORI et al., 2020; ANA et al., 2020; TANG et al., 2024). Os ambientes de interação - espaços digitais onde comunidades se encontram - facilitam o fluxo de recursos e conhecimento (HYRYNSALMI et al., 2015), catalisando contribuições que amplificam o valor do ecossistema (RIETVELD; PLOOG; NIEBORG, 2020).

Plataformas como GitHub e Stack Overflow tornaram-se ambientes essenciais onde desenvolvedores constroem conexões sociais, compartilham conhecimento e colaboram na evolução de artefatos do ECOS (VADLAMANI; BAYSAL, 2020; WU et al., 2014; FONTÃO et al., 2018). Entretanto, compreender e atender as necessidades dessas comunidades heterogêneas representa um desafio contínuo, dada a diversidade de perfis, interesses e a evolução constante das tecnologias e práticas de desenvolvimento.

Organizações bem-sucedidas reconhecem que estabelecer sinergia entre expectativas da comunidade e objetivos organizacionais é fundamental. Empresas como Apple, Google, Microsoft, Amazon e Niantic institucionalizaram essa preocupação através de equipes dedicadas de *Developer Relations* (DevRel), profissionais especializados em nutrir e sustentar relacionamentos produtivos com desenvolvedores.

1.2 Motivação e Justificativa

A ausência de estratégias efetivas de *Developer Relations* pode levar ao colapso de um ECOS. Quando organizações falham em alinhar objetivos corporativos com as necessidades e expectativas dos desenvolvedores, o ecossistema entra em declínio, podendo culminar em sua morte (FONTÃO et al., 2020). Soussi define a morte de ECOS como "a extinção permanente de uma entidade devido a uma perturbação na dinâmica entre os atores onde as colaborações e ligações já não ocorrem" (SOUSSI, 2018).

A morte de um ECOS manifesta-se quando a atividade colaborativa cessa, transformando um ambiente dinâmico em um sistema estático (DHUNGANA et al., 2010). Na ecologia tradicional, um ecossistema sem atividade é considerado morto (BEGON; TOWNSEND, 2023). Para ECOS, esse estado terminal ocorre em duas situações principais: (i) quando há anúncio oficial de descontinuação pelos mantenedores (MASSANORI et al., 2020); ou (ii) quando a plataforma permanece inativa por período superior a um ano (COELHO et al., 2018).

As consequências da morte de um ECOS são devastadoras para todos os stakeholders. Desenvolvedores perdem investimentos em aprendizado e contribuições realizadas (FONTAIO; SANTOS; DIAS-NETO, 2015; STEGLICH et al., 2019). Organizações desperdiçam recursos financeiros e humanos investidos no desenvolvimento e manutenção da plataforma. Usuários ficam órfãos de soluções das quais dependiam. A confiança da comunidade na organização é abalada, dificultando iniciativas futuras.

Apesar da gravidade desse fenômeno, a literatura científica apresenta uma lacuna crítica na compreensão sistemática dos sinais que precedem a morte de ECOS. Hyrynsalmi e Mäntymäki destacam em sua agenda de pesquisa: "pesquisas futuras poderiam analisar ecossistemas potencialmente se aproximando do estágio terminal e examinar como fica a situação através das atuais medidas de saúde do ecossistema e que tipo de sinais fracos, se houver, podem prever o declínio de um ecossistema" (HYRYNSALMI; MÄNTYMÄKI, 2018).

Essa direção de pesquisa fundamenta a motivação deste trabalho. Os "sinais fracos" mencionados representam declínios nos indicadores de vitalidade do ecossistema. Analogamente aos sinais vitais na medicina, como pressão arterial e frequência cardíaca (LOCKWOOD; CONROY-HILLER; PAGE, 2004), é necessário identificar e priorizar

métricas que possam servir como "sinais vitais" para ECOS. Esta pesquisa contribui identificando quais métricas são prioritárias segundo especialistas, estabelecendo base para futuro desenvolvimento de pontos de referência quantitativos.

Para definir o objetivo geral da pesquisa foi utilizado o template GQM (*Goal-Question-Metric*) (CALDIERA; ROMBACH, 1994), e resultou em: Analisar **Os sinais vitais de ECOS**; Com o propósito de **Estabelecer hierarquias de priorização**; Com respeito a **Métricas de ECOS**; Sob o ponto de vista de **Pesquisadores e profissionais da indústria**; No contexto de **Morte de ECOS**.

A partir da definição do objetivo geral, foram definidas questões de pesquisa para realização do objetivo principal.

Questão principal: O que é a morte de um ECOS no contexto da Engenharia de Software e como esse fenômeno pode ser compreendido e medido?

Como forma de responder à questão de pesquisa principal, apresentada acima, foram definidas as seguintes questões específicas:

[QP1]: O que a academia e a indústria dizem sobre a morte de ECOS?

[QP2]: Quais são as métricas de morte de ECOS?

[QP3]: Quais métricas são consideradas prioritárias por especialistas para monitorar ECOS em diferentes contextos organizacionais?

A questão de pesquisa QP1 busca consolidar o conhecimento existente sobre morte de ECOS, integrando perspectivas acadêmicas e experiências práticas da indústria. A questão de pesquisa QP2 objetiva identificar e catalogar métricas associadas à morte de ECOS. Através da triangulação entre os resultados da QP1 e estudos sobre saúde de ECOS, é possível estabelecer um conjunto de variáveis mensuráveis, resultando em um catálogo operacionalizado de métricas. Por fim, a questão de pesquisa QP3 visa validar as métricas por nível de prioridade para o monitoramento de ECOS em diferentes contextos organizacionais (p.ex. Declínio/Problemas, Crescimento/Mudança, Gestão/Sustentabilidade). O resultado esperado é um catálogo operacionalizado das métricas em torno da morte de ECOS, com grupos de destaque de acordo com cenários organizacionais.

1.2.1 Métodos de Pesquisa

Os métodos de pesquisa utilizados neste trabalho (Figura 1) foram selecionados para responder sistematicamente às questões de pesquisa. Fundamentados nas diretrizes da Engenharia de Software Experimental (KITCHENHAM et al., 2002; WOHLIN; RUNESON, 2021), os métodos escolhidos proporcionam bases empíricas sólidas para a definição de pontos de referência de sinais vitais de ECOS.

Método para QP1: Para capturar tanto o conhecimento acadêmico quanto as

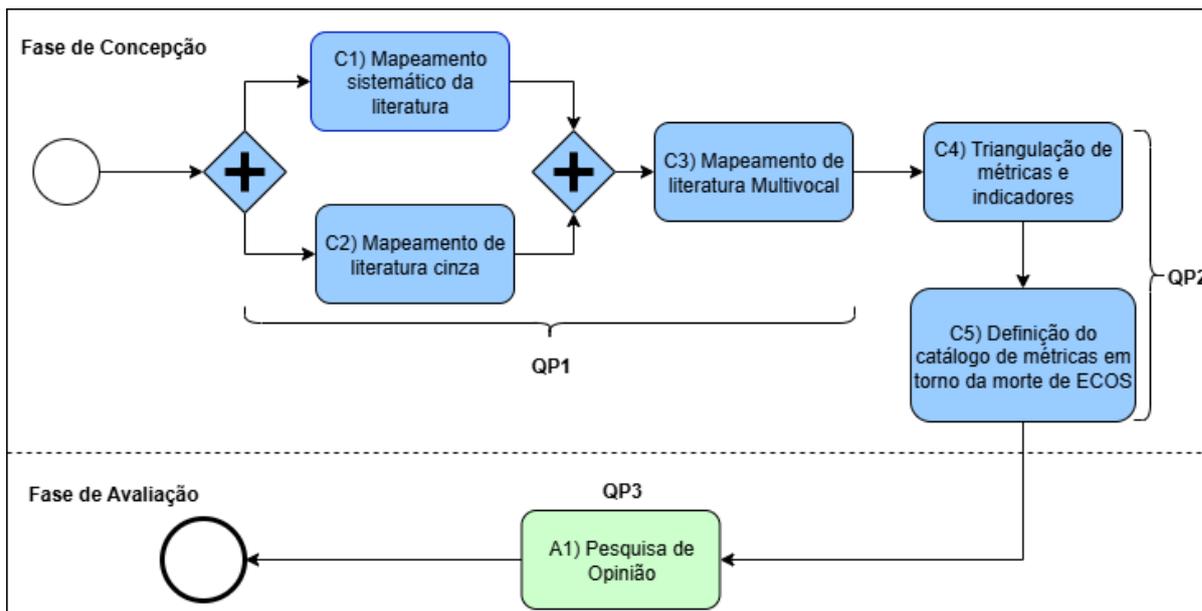


Figura 1 – Métodos de pesquisa

experiências práticas sobre morte de ECOS, foi conduzido um mapeamento de literatura multivocal seguindo as diretrizes de (GAROUSI; FELDERER; MÄNTYLÄ, 2019). O protocolo completo, procedimentos de execução e análise dos resultados são detalhados no Capítulo 3. **Resultados obtidos:** Definição de morte de ECOS; Catálogo de causas de morte; Identificação das fases do ciclo de vida em torno da morte; Estratégias adotadas pelas organizações; Métricas e indicadores documentados na literatura.

Método para QP2: Foi aplicado o método de triangulação iterativa proposto por (LEWIS, 1998) para integrar os achados da QP1 com estudos secundários sobre saúde de ECOS. Essa abordagem permitiu identificar convergências e complementaridades entre métricas de morte e de saúde. **Resultados obtidos:** Catálogo de 47 grupos de métricas com impacto na morte de ECOS.

Método para QP3: Foi conduzido um questionário de validação empírica com 24 pesquisadores e profissionais da indústria, seguindo as diretrizes de (KITCHENHAM; PFLEEGER, 2008). O questionário avaliou as métricas identificadas em QP2 através de 15 cenários organizacionais distintos, resultando em 24 respondentes. O protocolo detalhado e a análise dos resultados são apresentados no Capítulo 5. **Resultados obtidos:** Framework hierárquico de priorização de métricas empiricamente validado; Pontos de referência contextualizados para diferentes tipos de cenários organizacionais; Validação das métricas identificadas, de acordo com cenários de ECOS.

1.2.2 Fase de Concepção

C1) Mapeamento sistemático da literatura. Investigação sobre causas, fases, estratégias e métricas relacionadas à morte de ECOS na literatura acadêmica. O objetivo

é compreender os estudos existentes e consolidar o conhecimento sobre o fenômeno.

C2) Mapeamento da literatura cinza. Análise de blogs técnicos, relatórios empresariais, postagens em fóruns e outras fontes não-acadêmicas para capturar experiências práticas e lições aprendidas pela indústria sobre morte de ECOS.

C3) Síntese multivocal. Integração sistemática dos resultados de C1 e C2 seguindo o protocolo de (GAROUSI; FELDERER; MÄNTYLÄ, 2019). Esta síntese permitiu uma visão holística que combina rigor acadêmico com relevância prática.

C4) Catalogação e categorização. Com base nos resultados de C1, C2 e C3, foi desenvolvido um framework conceitual que organiza: causas de morte (declaração de óbito); fases evolutivas desde a saúde até a morte; estratégias de intervenção e mitigação; catálogo preliminar de métricas e indicadores.

C5) Triangulação com estudos de saúde. Análise comparativa entre o catálogo preliminar (C4) e estudos secundários sobre saúde de ECOS. Esta triangulação permitiu validar indicadores, identificar lacunas e estabelecer conexões entre métricas de saúde e sinais de declínio.

1.2.3 Fase de Avaliação

Para validar empiricamente os resultados obtidos na fase de concepção, foi conduzido um questionário de avaliação de métricas em cenários reais da indústria.

A1) Pesquisa de Opinião com Profissionais da Indústria. Para avaliar e validar o catálogo de métricas definido na fase de concepção, foi realizada uma pesquisa de opinião com pesquisadores e profissionais da indústria com alguma experiência em ecossistemas de software. O método de pesquisa de opinião foi escolhido por permitir a coleta de dados estruturados de um grupo específico de profissionais experientes, possibilitando a validação empírica das métricas propostas através de suas perspectivas e experiências práticas. A pesquisa foi conduzida seguindo as diretrizes metodológicas propostas por (MOLLÉRI; PETERSEN; MENDES, 2016) para pesquisas de opinião em engenharia de software. O estudo incluiu a validação dos pontos de referência de sinais vitais através de questionários estruturados, abordando aspectos como: aplicabilidade dos grupos de métricas na prática industrial, relevância dos pontos de referência para diferentes contextos de ECOS, e adequação das métricas propostas para detecção precoce de sinais de declínio.

O questionário foi estruturado para avaliar a relevância dos 47 grupos de métricas identificados na síntese multivocal através de cenários organizacionais representativos. Foram desenvolvidos 15 cenários categorizados em três tipos principais: (i) Cenários de Declínio/Problemas (Declínio da Comunidade de Desenvolvedores, Perda de Contribuidores Centrais, Sinais de Obsolescência Tecnológica, Falta de Engajamento Comunitário, Vulnerabilidades de Segurança) - situações onde o ecossistema apresenta sinais evidentes

de deterioração; (ii) Cenários de Crescimento/Mudança (Fragmentação do Ecossistema, Transição de Modelo de Negócio, Escalabilidade do Suporte, Obsolescência Tecnológica, Internacionalização do Ecossistema) - situações de transição organizacional ou tecnológica; e (iii) Cenários de Gestão/Sustentabilidade (Gestão e Comunidade, Aspectos Financeiros, Evolução Técnica e Qualidade de Código, Colaboração e Recursos de Rede, Sustentabilidade e Independência Tecnológica) - situações focadas em aspectos de governança e sustentabilidade financeira.

O instrumento foi aplicado a 24 pessoas com experiência em engenharia de software e ECOS. A análise dos dados revelou priorização de métricas, com quatro níveis distintos: (1) Capital Humano (31.0%), (2) Sustentabilidade (26.6%), (3) Competitividade (24.4%), e (4) Fundação Técnica (20.6%). Os resultados também demonstraram variação contextual nas prioridades de métricas conforme o tipo de cenário enfrentado pelo ecossistema, validando a necessidade de abordagens adaptativas para monitoramento.

1.3 Organização da Escrita

Este trabalho está organizado em seis capítulos que guiam sistematicamente o leitor através da investigação sobre morte de ecossistemas de software.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO: Estabelece o contexto e a motivação da pesquisa, apresentando o problema da morte de ECOS e sua relevância para a comunidade acadêmica e industrial. Define o objetivo geral utilizando o template GQM e apresenta as questões de pesquisa que norteiam a investigação. Detalha a metodologia empregada nas fases de concepção e avaliação, incluindo o mapeamento multivocal, catalogação de métricas e pesquisa de opinião com especialistas.

CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO: Fundamenta os conceitos essenciais para compreensão da pesquisa: Ambientes de Colaboração (Seção 2.1), explorando como desenvolvedores interagem em ECOS; Mineração de Repositórios de Software (Seção 2.2), apresentando técnicas para análise de dados históricos; Ecossistemas de Software (Seção 2.3), detalhando definições e características; Relacionamento com Desenvolvedores (Seção 2.4), discutindo estratégias de DevRel; Morte de Ecossistemas de Software (Seção 2.5), conceituando o fenômeno central; Reciclagem de Recursos (Seção 2.6), abordando estratégias pós-morte; Pontos de Referências de Sinais Vitais (Seção 2.7), estabelecendo paralelos com a medicina. A Seção 2.8 apresenta trabalhos relacionados que contextualizam esta pesquisa.

CAPÍTULO 3 - REVISÃO MULTIVOCAL: Detalha a execução e resultados do mapeamento multivocal, integrando sistematicamente o mapeamento da literatura acadêmica (18 estudos) com análises da literatura cinza (19 documentos), proporcionando uma visão abrangente sobre morte de ECOS. A síntese multivocal identifica convergên-

cias, complementaridades e divergências entre perspectivas acadêmicas e profissionais, resultando em um framework integrado para compreensão do fenômeno.

CAPÍTULO 4 - CATÁLOGO DE MÉTRICAS: Apresenta o processo de triangulação metodológica que integrou os achados da revisão multivocal com estudos secundários sobre saúde de ECOS. Descreve a definição operacional das métricas seguindo diretrizes internacionais, resultando na catalogação e classificação de 264 métricas organizadas em 47 grupos. As métricas são categorizadas por dimensão (Social, Técnica, Negócios) e indicadores de ECOS (Robustez, Produtividade, Criação de Nicho).

CAPÍTULO 5 - PESQUISA DE OPINIÃO: Apresenta o estudo empírico de validação das métricas identificadas no catálogo. Descreve o desenvolvimento do instrumento de pesquisa com 15 cenários organizacionais, a aplicação do questionário a 24 especialistas, e a análise das 316 respostas obtidas. Os resultados revelam hierarquia de priorização de métricas e padrões contextuais de importância, oferecendo validação empírica para as descobertas teóricas.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO: Sintetiza as principais contribuições da pesquisa, organizadas em dimensões teóricas, metodológicas e práticas. Discute as limitações do estudo e estabelece uma agenda abrangente para trabalhos futuros, incluindo direções para validação intercultural, estudos longitudinais, desenvolvimento de ferramentas e colaborações interdisciplinares. O capítulo consolida os achados e posiciona esta dissertação como fundação para um programa de pesquisa de longo prazo em saúde e sustentabilidade de ecossistemas de software.

2 Referencial Teórico

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos essenciais para compreender o fenômeno da morte de ecossistemas de software. Os conceitos aqui expostos estabelecem as bases conceituais que sustentam a investigação e contextualizam os trabalhos relacionados encontrados na literatura.

2.1 Ecossistemas de Software

Ecossistemas de Software representam uma evolução paradigmática na engenharia de software, transcendendo modelos tradicionais de desenvolvimento isolado. Jansen e Brinkkemper (2013) definem ECOS como "um conjunto de atores funcionando como uma unidade e interagindo com um mercado compartilhado de software e serviços, juntamente com as relações entre eles". Esta definição captura a essência colaborativa e interdependente desses sistemas complexos.

Manikas (2016) expande essa conceituação, enfatizando que ECOS emergem da "interação entre software e atores em relação a uma infraestrutura tecnológica comum, resultando em um conjunto de contribuições que influenciam direta ou indiretamente o ecossistema". Esta perspectiva destaca a natureza emergente e auto-organizativa dos ecossistemas, onde o todo é maior do que a soma das partes.

A complexidade dos ECOS manifesta-se em múltiplas dimensões. Tecnicamente, envolvem arquiteturas distribuídas, APIs interoperáveis e padrões de integração. Socialmente, abrangem comunidades heterogêneas com interesses diversos e por vezes conflitantes. Economicamente, criam mercados multi-sided onde valor é co-criado e compartilhado. Esta natureza multifacetada torna os ECOS simultaneamente poderosos e frágeis (MANIKAS, 2016).

A evolução temporal constitui característica fundamental dos ECOS. Eles não são entidades estáticas, mas organismos vivos que se adaptam continuamente às pressões do mercado, inovações tecnológicas e mudanças nas necessidades dos usuários. As relações entre atores - sejam parcerias estratégicas, competições saudáveis ou colaborações técnicas - moldam constantemente a trajetória evolutiva do ecossistema (GERMAN; ADAMS; HASSAN, 2013).

Jansen *et al.* (2013) identificam os elementos constituintes fundamentais dos ECOS:

- **Plataforma:** Fundação tecnológica que define arquitetura, protocolos e conhecimento compartilhado. A plataforma estabelece as regras do jogo, determinando o

que é possível construir e como os componentes devem interagir. Sua robustez e flexibilidade determinam o potencial de crescimento do ecossistema;

- **Organização Central:** Entidade responsável por fornecer e manter a plataforma, estabelecer padrões, disseminar melhores práticas e orquestrar a evolução estratégica. A organização central atua como guardião do ecossistema, equilibrando interesses próprios com as necessidades da comunidade. Seu papel é crítico: falhas de governança frequentemente precipitam a morte do ecossistema;
- **Contribuidor:** Desenvolvedores e organizações que criam valor sobre a plataforma. Contribuidores transformam potencial em realidade, desenvolvendo aplicações, extensões e serviços que ampliam o alcance e utilidade do ecossistema. Sua criatividade e engajamento determinam a vitalidade do sistema;
- **Comunidade:** Coletivo de stakeholders unidos por interesses comuns na plataforma. Inclui desenvolvedores, usuários, parceiros e até competidores que reconhecem benefícios mútuos na colaboração. A saúde da comunidade - medida em engajamento, diversidade e crescimento - é indicador crítico da sustentabilidade do ecossistema.

A classificação dos ECOS segundo mecanismos de criação de valor, proposta por Manikas (2016) e exemplificada por Fontão *et al.* (2020), revela estratégias distintas de sustentabilidade:

- **Proprietário:** Valor gerado através de contribuições protegidas por propriedade intelectual, com monetização direta. Exemplos incluem ecossistemas empresariais como Salesforce, SAP e plataformas SaaS. A vantagem está no controle e previsibilidade de receita; o risco, na dependência excessiva da organização central;
- **Open-Source:** Valor emerge de contribuições abertas, motivadas por reputação, aprendizado e altruísmo. Projetos como Linux, Apache e Eclipse demonstram a viabilidade deste modelo. A força está na resiliência e inovação distribuída; a vulnerabilidade, na sustentabilidade financeira de longo prazo;
- **Híbrido:** Combina estratégias proprietárias e abertas, exemplificado por Android e iOS. App stores proprietárias coexistem com ferramentas de desenvolvimento abertas. Este modelo busca equilibrar controle com inovação, mas enfrenta desafios de governança complexos.

A complexidade de ECOS implica na sua complexidade de observação. O ECOS não pode ser compreendido apenas por lentes técnicas. Aspectos econômicos determinam viabilidade; dimensões sociais influenciam a adoção; fatores culturais moldam práticas

de desenvolvimento; regulações impõem restrições; expectativas de usuários direcionam a evolução. Compreender e gerenciar esta complexidade requer abordagem sistêmica e multidisciplinar (JANSEN; CUSUMANO; BRINKKEMPER, 2013).

2.2 Ambientes de Colaboração

Ambientes de colaboração constituem a infraestrutura digital onde ocorrem as interações vitais dos ECOS. São sistemas computacionais especificamente projetados para facilitar a cooperação entre desenvolvedores, usuários e organizações, permitindo que trabalhem conjuntamente de forma eficaz, compartilhem recursos e alcancem objetivos comuns (WHITEHEAD, 2007).

Esses ambientes capturam e armazenam dados valiosos sobre a dinâmica do ecossistema através de repositórios de software. Segundo Rodriguez *et al.* (2012), os repositórios podem ser classificados em categorias funcionais que refletem diferentes aspectos da colaboração:

- *Source Code* (Código Fonte): Representa o produto fundamental do desenvolvimento de software. Análises do código-fonte revelam propriedades críticas do ecossistema, incluindo tamanho, complexidade, qualidade e padrões de evolução;
- *Source Code Management Systems* (SCM): Sistemas de controle de versão que preservam o histórico completo de modificações do código. Cada alteração registrada inclui metadados valiosos - autor, timestamp, mensagem de commit - criando uma narrativa temporal da evolução do ecossistema. Esses dados permitem análises profundas sobre padrões de contribuição, velocidade de desenvolvimento e dinâmicas de colaboração;
- *Issue tracking systems*: Plataformas onde bugs, melhorias e requisitos são documentados e gerenciados. Tanto desenvolvedores quanto usuários registram tickets detalhando problemas ou solicitando funcionalidades. O histórico completo de interações - comentários, mudanças de status, discussões técnicas - fornece insights sobre a responsividade do ecossistema e qualidade do suporte à comunidade;
- *Messages between developers and users*: Canais de comunicação onde ocorrem discussões técnicas, decisões arquiteturais e resolução colaborativa de problemas. Em projetos open source, essas mensagens são preservadas em listas de discussão, fóruns, IRC ou plataformas modernas como Slack e Discord, constituindo rica fonte de dados sobre a saúde social do ecossistema;
- *Meta-data about the projects*: Informações contextuais sobre os projetos que compõem o ecossistema - linguagens utilizadas, domínios de aplicação, licenças, depen-

dências. Esses metadados permitem análises macro sobre tendências tecnológicas, adoção de padrões e evolução estratégica do ecossistema;

- *Usage data*: Dados sobre como usuários finais interagem com o software - downloads, frequência de uso, funcionalidades mais acessadas, padrões de engajamento. Essas métricas revelam a relevância real do ecossistema para sua comunidade de usuários.

O propósito dos repositórios é armazenar dados. Eles constituem a memória viva do ecossistema, registrando não apenas o que foi construído, mas como foi construído, por quem e por quê. Essa riqueza de informações possibilita identificar padrões de declínio, sinais de vitalidade e indicadores precoces de morte.

2.3 Relacionamento com Desenvolvedores

Developer Relations (DevRel) emerge como função organizacional crítica para a sustentabilidade dos ecossistemas de software. Mais que uma interface entre empresa e comunidade, DevRel constitui a prática estratégica de cultivar, nutrir e fortalecer relacionamentos com desenvolvedores, reconhecendo-os como stakeholders fundamentais do ecossistema (FONTÃO et al., 2020).

DevRel transcende atividades tradicionais de marketing ou suporte técnico. Trata-se de criar pontes genuínas entre objetivos organizacionais e aspirações da comunidade, estabelecendo diálogo contínuo que beneficia ambas as partes. Profissionais de DevRel atuam como embaixadores bidirecionais: levam a voz da comunidade para dentro da organização e comunicam decisões estratégicas de forma que ressoe com desenvolvedores (FONTÃO et al., 2020).

As atividades de DevRel são diversas e estratégicas. Programas de treinamento capacitam desenvolvedores nas tecnologias do ecossistema. Eventos e conferências criam espaços de networking e aprendizado. Competições e hackathons estimulam inovação e identificam talentos. Documentação de qualidade reduz barreiras de entrada. Programas de advocacy reconhecem e amplificam vozes influentes da comunidade. Cada atividade é cuidadosamente desenhada para fortalecer laços e demonstrar comprometimento genuíno com o sucesso dos desenvolvedores (THENGVALL, 2018).

A importância estratégica de DevRel para a saúde do ecossistema não pode ser subestimada. Desenvolvedores engajados contribuem mais, advogam pela plataforma, atraem outros desenvolvedores e permanecem leais mesmo diante de alternativas. Inversamente, falhas em DevRel como comunicação inadequada, desconsideração de feedback, mudanças abruptas sem consulta, frequentemente precipitam êxodo em massa e eventual morte do ecossistema (THENGVALL, 2018).

2.4 Saúde de Ecossistemas de Software

A saúde de ecossistemas de software representa o estado funcional e a capacidade de sustentabilidade ao longo do tempo. Hyrynsalmi *et al.* (2015) definem saúde do ecossistema como a habilidade de funcionar efetivamente, crescer e evoluir continuamente, mantendo equilíbrio entre as necessidades de diferentes stakeholders. Esta definição reconhece que ECOS saudáveis não são apenas tecnicamente funcionais, mas capazes de se adaptar às mudanças do mercado, atrair novos participantes e gerar valor de forma sustentável para a comunidade envolvida.

Amorim *et al.* (2017) estabeleceram através de revisão sistemática que a avaliação de saúde em ECOS baseia-se em quatro dimensões fundamentais: produtividade, qualidade, aspectos de negócio e dinâmicas comunitárias. A produtividade refere-se à capacidade de desenvolvimento e entrega contínua de funcionalidades. A qualidade abrange aspectos técnicos do software e a experiência do usuário. Os aspectos de negócio incluem viabilidade econômica e criação de valor. As dinâmicas comunitárias capturam o engajamento, colaboração e crescimento da base de participantes. Estas dimensões são interdependentes e a deterioração em uma área frequentemente afeta as demais.

A operacionalização da saúde requer métricas específicas para cada dimensão. Frousi *et al.* (2014) catalogaram indicadores quantitativos, incluindo frequência de commits, velocidade de resolução de issues, taxa de crescimento de usuários, diversidade de contribuidores e qualidade do código. Linaker *et al.* (2022) complementam com métricas qualitativas como satisfação da comunidade, clareza da documentação e efetividade dos canais de comunicação. A combinação dessas métricas permite a avaliação do estado vital do ecossistema, identificando tanto pontos fortes quanto áreas de risco.

A importância da saúde manifesta-se na sua capacidade preditiva sobre o futuro do ecossistema. Hou e Jansen (2023) demonstram que indicadores de saúde podem sinalizar tendências de crescimento ou declínio antes que se tornem evidentes. Ecossistemas com saúde deteriorada apresentam maior probabilidade de perder participantes, reduzir inovação e eventualmente entrar em colapso. Inversamente, ECOS saudáveis atraem investimentos, expandem sua base de usuários e demonstram resiliência diante de desafios externos. Esta capacidade preditiva torna o monitoramento de saúde uma ferramenta estratégica para organizações que dependem de ECOS.

Para esta pesquisa, a compreensão de saúde estabelece o contexto necessário para investigar seu oposto, a morte de ECOS. A transição de estados saudáveis para terminais não é instantânea, mas um processo gradual caracterizado por deterioração progressiva nos indicadores de saúde. Identificar os pontos críticos onde a saúde se torna irreversível constitui um elemento fundamental para caracterizar e prever a morte de ECOS.

2.5 Morte de Ecossistema de Software

A morte de um ecossistema de software representa o colapso definitivo de uma rede colaborativa anteriormente vibrante. Este fenômeno ocorre quando as atividades vitais que sustentam o ecossistema (desenvolvimento, manutenção, suporte, inovação) cessam permanentemente, transformando um sistema dinâmico em relíquia digital estática (DHUNGANA et al., 2010).

Na ecologia, um ecossistema sem fluxo de energia e nutrientes é considerado morto (BEGON; TOWNSEND, 2023). Similarmente, ECOS sem fluxo de contribuições, correções e melhorias entram em estado terminal. A morte pode manifestar-se de duas formas principais: (i) através de anúncio oficial de descontinuação pela organização mantenedora (MASSANORI et al., 2020); ou (ii) pela ausência prolongada de atividade significativa, convencionalmente definida como período superior a um ano sem commits, releases ou interações comunitárias (COELHO et al., 2020).

Soussi (2018) define a morte de ECOS como "A extinção permanente de uma entidade devido a uma perturbação na dinâmica entre os atores onde as colaborações e ligações já não ocorrem". Esta conceituação enfatiza que a morte não é meramente técnica, mas social, marcada pelo colapso das relações colaborativas que dão vida ao ecossistema.

A morte segue trajetória de declínio marcada por sinais progressivos: redução de contribuições, aumento no tempo de resposta a *issues*, diminuição de downloads, êxodo de mantenedores-chave. Compreender esta progressão é crucial para intervenções preventivas. Paradoxalmente, alguns ecossistemas experimentam breve período de atividade intensa imediatamente antes da morte, desenvolvedores tentando desesperadamente salvar o projeto ou migrar funcionalidades essenciais.

Para fins desta pesquisa, a caracterização precisa da morte é fundamental. Foram adotados critérios objetivos que permitem a identificação inequívoca: anúncio oficial de fim de vida, arquivamento de repositórios, cessação de *releases*, ou inatividade prolongada em todos os canais de desenvolvimento e comunicação. Esta operacionalização permite a análise sistemática de ecossistemas mortos para identificar padrões e sinais precursores.

2.6 Reciclagem de Recursos

A morte de um ecossistema não implica necessariamente no desperdício total dos recursos investidos. O conceito de reciclagem de recursos, inspirado em princípios ecológicos (BEGON; TOWNSEND, 2023), oferece uma perspectiva construtiva sobre como recursos de ecossistemas mortos podem ser reaproveitados.

Recursos em engenharia de software são diversos: código fonte desenvolvido, arquiteturas projetadas, documentação criada, conhecimento acumulado, comunidades forma-

das, e experiências adquiridas (LAPLANTE; KASSAB, 2022). Cada categoria representa um investimento significativo que pode ser preservado e reutilizado mesmo após a morte do ECOS.

A reciclagem reaproveita diversos recursos. Código pode ser incorporado em novos projetos através de forks ou bibliotecas extraídas. Arquiteturas bem-sucedidas tornam-se padrões para futuros desenvolvimentos. Documentação técnica preserva conhecimento. Comunidades podem migrar coletivamente para plataformas sucessoras, mantendo laços sociais e expertise. Lições aprendidas, especialmente sobre o que não funcionou, informam decisões em novos ECOS.

Organizações podem planejar estratégias de reciclagem antes mesmo de sinais de declínio. Licenças open source facilitam reuso de código. APIs bem documentadas facilitam a migração. Ferramentas de exportação de dados respeitam investimentos dos usuários. Comunicação transparente sobre fim de vida permite que a comunidade se prepare e organize alternativas. Estas práticas minimizam perdas, facilitam a migração e possibilitam reaproveitamento de recursos em novos ECOS.

2.7 Pontos de Referências de Sinais Vitais de ECOS

O conceito de sinais vitais, emprestado da medicina onde indica "medidas clínicas do estado das funções essenciais do corpo", oferece framework para monitorar a saúde de ECOS. Assim como médicos monitoram pressão arterial, frequência cardíaca e temperatura para avaliar a condição de pacientes, pode ser possível estabelecer indicadores análogos para ECOS.

Pontos de referência representam valores-limite que distinguem estados saudáveis de patológicos. Mkaouer *et al.* (2014) descreve pontos de referência como abordagem para resolver problemas de otimização multi-objetivo, guiando decisões com base em alvos predefinidos no espaço de soluções. Aplicado a ECOS, isto significa estabelecer limiares quantitativos e qualitativos que sinalizam transições entre vitalidade, declínio e morte.

Sinais vitais de ECOS podem incluir: velocidade de resposta a *issues* (indica responsividade); frequência de *commits* (reflete atividade de desenvolvimento); diversidade de contribuidores (sugere sustentabilidade); taxa de adoção de novas versões (demonstra relevância); sentimento da comunidade em discussões (revela satisfação). Cada métrica requer calibração, o que é saudável para um ECOS jovem pode indicar estagnação em um adulto.

O estabelecimento de pontos de referência enfrenta desafios metodológicos. Ecossistemas variam em escala, domínio e modelo de governança. Valores absolutos raramente são aplicáveis. Ao invés disso, o foco foi em padrões de mudança, tendências relativas e

combinações de métricas que, coletivamente, pintam quadro da saúde do ECOS.

Esta dissertação contribui estabelecendo uma metodologia sistemática para identificar e catalogar métricas relevantes para o monitoramento de sinais vitais de ECOS. Através da integração de perspectivas acadêmicas e práticas industriais via revisão multivocal, foram identificadas métricas associadas à saúde e morte de ECOS. A validação com especialistas estabeleceu hierarquias de priorização que orientam organizações na seleção de métricas apropriadas para diferentes contextos organizacionais, fornecendo base para o desenvolvimento futuro de pontos de referência quantitativos.

2.8 Trabalhos Relacionados

Amorim *et al.* (2017) conduziram investigação seminal sobre abordagens para avaliar a saúde de ECOS. Analisando 23 métodos de avaliação, identificaram foco predominante em métricas de produtividade, qualidade, negócios e dinâmicas comunitárias. Catalogaram 211 métricas distintas, revelando simultaneamente a riqueza de indicadores disponíveis e a falta de consenso sobre quais são mais críticos. Enquanto seu trabalho ilumina como medir a saúde através de uma perspectiva acadêmica, esta dissertação complementa investigando métricas através de uma síntese multivocal entre literatura acadêmica e cinza, complementada com validação com especialistas.

Coelho *et al.* (2020) exploraram vulnerabilidades de projetos open source através de uma lente de aprendizado de máquina. Desenvolveram um modelo preditivo utilizando métricas em três dimensões: projeto (forks, issues, pull requests, commits), contribuidor (novos contribuidores, diversidade) e proprietário (portfólio, engajamento pessoal). O objetivo do trabalho foi detectar projetos "não mantidos". Esta dissertação expande o escopo para ECOS, considerando dinâmicas sociotécnicas e estabelecendo hierarquia de priorização contextual das métricas.

Massanori *et al.* (2020) ofereceram análise da morte do Windows Phone através da perspectiva de Developer Relations. Utilizando mineração de dados do Stack Overflow, traçaram o declínio do ecossistema através de métricas de engajamento comunitário. Identificaram padrões de migração de desenvolvedores e impactos em ecossistemas concorrentes. Enquanto seu estudo de caso único fornece profundidade, esta dissertação busca amplitude, analisando múltiplos ecossistemas através de domínios diversos e sistematizando fases de declínio aplicáveis em diferentes contextos organizacionais.

Evertse *et al.* (2021) investigaram anti-padrões, isto é, condutas que facilitam ou aceleram a morte de ECOS. Identificaram práticas nocivas, incluindo negligência de feedback comunitário, mudanças abruptas de direção, falhas de comunicação e subestimação de concorrentes. Propuseram estratégias corretivas focadas em transparência, engajamento e adaptabilidade. Seu trabalho sobre o que não fazer complementa nossa

investigação sobre sinais mensuráveis de declínio, traduzindo insights comportamentais em métricas quantificáveis priorizadas por especialistas.

Soupinski *et al.* (2022) analisaram indicadores comportamentais precedendo a morte, focando em três ecossistemas web: AngularJS, PhantomJS e Moment.js. Examinaram métricas de interação em Stack Overflow e GitHub, identificando padrões temporais de declínio. Descobriram que a redução na taxa de resposta a perguntas frequentemente precede o declínio em outras métricas. Esta dissertação expande seu trabalho considerando um espectro mais amplo de ambientes e domínios, estabelecendo causas, fases e estratégias em torno da morte de ECOS e validando 47 grupos de métricas por meio de pesquisa de opinião.

Coletivamente, estes trabalhos contribuem para a compreensão sobre métricas de saúde sem foco específico em mortalidade, vulnerabilidades a nível de projetos e não de ECOS, estudos de caso específicos, e práticas nocivas sem métricas hierarquizadas. Esta dissertação sintetiza e expande estas contribuições através de uma abordagem multimetodológica que integra perspectivas acadêmicas e industriais, estabelecendo priorização de métricas e fornecendo base para frameworks de monitoramento de sinais vitais de ECOS em diferentes contextos organizacionais.

3 Revisão Multivocal

3.1 Motivação e Método

O *Multivocal Literature Review* (MLR) é uma abordagem metodológica que permite capturar a complexidade de múltiplas perspectivas, integrando sistematicamente publicações científicas revisadas por pares com a experiência prática documentada na literatura cinza (p.ex: blogs técnicos, relatórios técnicos, documentos governamentais, preprints) (GAROUSI; FELDERER; MÄNTYLÄ, 2019).

A escolha do MLR para esta investigação fundamenta-se nas diferentes perspectivas sobre a morte de ECOS. Enquanto pesquisadores acadêmicos fornecem análises rigorosas e modelos teóricos, profissionais da indústria vivenciam diariamente os desafios práticos, documentando suas experiências em blogs técnicos, relatórios empresariais e fóruns especializados. Desta forma, a academia oferece profundidade analítica enquanto a indústria proporciona relevância contextual e *insights* emergentes.

Seguindo as diretrizes de Garousi et al. (2019), dois passos orientaram a condução deste MLR: (1) estabelecer inequivocamente a necessidade de uma revisão multivocal; (2) definir com precisão os objetivos e questões de pesquisa que guiarão a investigação.

A morte de ECOS representa fenômeno recente e em evolução, onde práticas industriais frequentemente precedem a teorização acadêmica. Compreender plenamente este fenômeno requer investigar: porque ecossistemas morrem, quais fases caracterizam o processo de declínio, quais estratégias podem ser empregadas para prevenção ou mitigação, e quais indicadores sinalizam perigo iminente.

A literatura existente sobre saúde de ECOS (FOTROUSI et al., 2014; FONTAO; SANTOS; DIAS-NETO, 2015; AXELSSON; SKOGLUND, 2016; MANIKAS, 2016; AMORIM et al., 2017a; FRANCO-BEDOYA et al., 2017; SEPPÄNEN et al., 2017; GARCÍA-HOLGADO; GARCÍA-PEÑALVO, 2018; LINÅKER; PAPTATHEOCHAROUS; OLSSON, 2022; HOU; JANSEN, 2023) concentra-se predominantemente em ecossistemas saudáveis, deixando uma lacuna significativa na compreensão de ecossistemas em declínio ou já extintos. Entretanto, é precisamente através da análise de falhas e mortes que se pode identificar anomalias nos sinais vitais e estabelecer pontos de referência críticos. A perspectiva de profissionais que testemunharam colapsos de ecossistemas pode oferecer *insights* únicos sobre sinais precoces, decisões fatais e lições aprendidas.

A síntese entre conhecimento acadêmico e experiência prática torna-se ferramenta para entender as diferentes perspectivas sobre a morte de ECOS. O mapeamento sistemático da literatura acadêmica fornece fundamentos teóricos sólidos, enquanto o mapea-

mento da literatura cinza captura a dinâmica real e as nuances práticas do fenômeno. A integração dessas perspectivas através do MLR possibilita a construção de um corpo de conhecimento robusto e aplicável.

3.2 Objetivo e Questões de pesquisa

Para definir o objetivo desta revisão multivocal, utilizou-se o modelo *Goal-Question-Metric* (GQM) (CALDIERA; ROMBACH, 1994): Analisar **Documentos e literatura acadêmica de Ecossistemas de Software**; Com o propósito de **Criar um corpo de conhecimento integrado**; Com respeito a **Estratégias de prevenção e mitigação**; Sob o ponto de vista de **Pesquisadores e profissionais da indústria**; No contexto de **Ciclo de vida de Ecossistemas de Software**.

O objetivo estabelecido desdobra-se em questões de pesquisa específicas, cada uma endereçando aspectos do fenômeno da morte de ECOS. Estas questões foram cuidadosamente formuladas para capturar tanto a profundidade analítica necessária quanto a aplicabilidade prática desejada.

[QP1]: Por que um ECOS morre?

Razão: Identificar e categorizar as causas fundamentais da morte de ECOS pode ser usado para desenvolver estratégias preventivas eficazes (MASSANORI et al., 2020; EVERTSE et al., 2021). Esta questão busca mapear não apenas causas imediatas, mas também fatores sistêmicos e contextuais que precipitam o colapso (SOUSSI, 2018; SOUPINSKI et al., 2022). O entendimento das causas permite que organizações reconheçam vulnerabilidades em seus próprios ecossistemas e implementem medidas corretivas antes que declínios se tornem irreversíveis. As lições aprendidas de ECOS mortos servem como advertências para ECOS ativos, fornecendo *insights* práticos para prevenção (EVERTSE et al., 2021; ARANTES; SOUPINSKI; FONTÃO, 2023).

[QP2]: Quais são as fases em torno da morte de ECOS?

Razão: A morte não costuma ser um evento instantâneo; segue trajetória identificável através de fases distintas (COELHO et al., 2018; COELHO et al., 2020). Compreender estas fases, desde os primeiros sinais de declínio até o colapso final, pode ser usado para intervenções oportunas (MUJAHID et al., 2021). Esta questão investiga se existe um processo típico de deterioração: ecossistemas tornam-se primeiro mórbidos? Podem recuperar-se de estados críticos? Existem pontos de não-retorno? O mapeamento dessas fases fornece base conceitual para futuro desenvolvimento de modelos preditivos e frameworks de monitoramento e intervenção (SOUSSI, 2018).

[QP3]: Quais são as estratégias em torno da morte de ECOS?

Razão: Quando confrontados com declínio iminente ou morte confirmada, *sta-*

keholders necessitam de orientação prática sobre as opções disponíveis (MILLER; KÄSTNER; VASILESCU, 2023; FONTÃO et al., 2023). Esta questão busca catalogar estratégias empregadas em situações reais, incluindo abordagens de governança e modelos organizacionais (ALVES; OLIVEIRA; JANSEN, 2017). Essas estratégias podem capacitar organizações a responder proativamente, podendo possibilitar a minimização de danos e a maximização de oportunidades de recuperação ou transição (EVERTSE et al., 2021).

[QP4]: Quais são as métricas que impactam na morte de um ECOS?

Razão: Esta questão identifica métricas (técnicas, sociais e econômicas) que se correlacionam com a saúde ou declínio do ecossistema, considerando tanto projetos individuais quanto ecossistemas completos (FOTROUSI et al., 2014; AMORIM et al., 2017a). A definição de métricas viabiliza o monitoramento proativo, gestão baseada em evidências e desenvolvimento de ferramentas automatizadas de diagnóstico (HYRYNSALMI et al., 2015; LINÅKER; PAPTATHEOCHAROUS; OLSSON, 2022). A caracterização adequada da saúde de ecossistemas é fundamental para estabelecer frameworks de avaliação eficazes (HYRYNSALMI; MÄNTYMÄKI, 2018).

3.3 Mapeamento Sistemático

O mapeamento sistemático da literatura constitui a primeira etapa do MLR, estabelecendo base acadêmica para compreensão do fenômeno da morte de ECOS. Esta seção detalha o processo empregado para identificar, selecionar e analisar estudos científicos relevantes.

3.3.1 Estratégia de pesquisa

A construção da string de busca seguiu processo sistemático estruturado, fundamentado nas diretrizes estabelecidas por (KITCHENHAM et al., 2008) para revisões sistemáticas em engenharia de software e nas recomendações de (ZHANG; BABAR; TELL, 2011) para identificação de estudos relevantes. O desenvolvimento da estratégia de busca empregou abordagem híbrida, conforme demonstrado eficaz por (WOHLIN et al., 2020), equilibrando sensibilidade e especificidade para maximizar a recuperação de estudos pertinentes enquanto minimiza ruído informacional.

A estratégia foi estruturada em três componentes booleanos, seguindo o modelo de decomposição conceitual proposto por (BRERETON et al., 2007):

Componente 1 - População: Definição do domínio de interesse através dos termos *Software Ecosystems*, *Developer community* e *Open Source Community*. A inclusão de terminologia variada reconhece a diversidade conceitual documentada por (CUNHA, 2023) na caracterização de ecossistemas de software, assegurando cobertura de estudos

que abordam o fenômeno sob diferentes perspectivas teóricas.

Componente 2 - Contexto: Incorporação de termos de contextualização temporal e qualitativa (*Life Cycle, Maintenance, Health*). Estes descritores, validados empiricamente por (AMORIM et al., 2017b), funcionam como filtros semânticos que aumentam a precisão na recuperação de estudos focados em aspectos evolutivos e de vitalidade dos ecossistemas.

Componente 3 - Intervenção: Especificação do fenômeno central através de vocabulário controlado relacionado à morte e descontinuação: *Death, Dying, Discontinuation, Unmaintained, Static, Demise, Aging, End-of-life, Graveyard* e *Cemetery*. Esta taxonomia, fundamentada na terminologia empregada por (COELHO et al., 2020), captura a diversidade metafórica utilizada na literatura para descrever estados terminais de sistemas de software.

A string foi submetida a processo iterativo de refinamento, conforme protocolo de (WOHLIN et al., 2020), com validação através de testes de *recall* em conjunto conhecido de artigos de controle (seção 3.3.4). A configuração final foi:

```
("software ecosystems" OR "developer community" OR "open source community")
AND
("life cycle" OR "maintenance" OR "health")
AND
("death" OR "dead" OR "die*" OR "dying" OR "static" OR "sick*" OR
"discontinuu*" OR "unmaintained" OR "End-of-life" OR "demise*" OR
"aging" OR "cemetery" OR "graveyard")
```

A estratégia atende aos critérios de qualidade estabelecidos por (KITCHENHAM et al., 2004), proporcionando cobertura sistemática do domínio de pesquisa com precisão metodológica adequada para fundamentar conclusões.

3.3.2 Processo de seleção

O processo de seleção seguiu protocolo sistemático, documentado para garantir reprodutibilidade e transparência (KITCHENHAM et al., 2004; BRERETON et al., 2007). As buscas foram executadas em três bases de dados complementares: Scopus, ACM Digital Library e IEEE Xplore. As bases foram selecionadas por sua cobertura abrangente da literatura em engenharia de software e pela qualidade dos estudos indexados (KEELE et al., 2007; WOHLIN et al., 2020).

A busca inicial, realizada em março de 2024, retornou 246 documentos. Este conjunto passou por um processo de filtragem baseado nos critérios de inclusão e exclusão,

seguindo diretrizes estabelecidas para identificação de estudos relevantes (ZHANG; BABAR; TELL, 2011). O fluxo do processo pode ser visualizado na Figura 2. O processo foi conduzido por um pesquisador com cinco anos de experiência em engenharia de software e validado por um pesquisador sênior com dez anos de experiência por meio de reuniões, garantindo confiabilidade nas decisões de inclusão e exclusão (KITCHENHAM et al., 2008).

3.3.3 Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios foram definidos para balancear abrangência com relevância, assegurando que apenas estudos de alta qualidade e pertinência fossem incluídos (GAROUSI; FELDERER; MÄNTYLÄ, 2019):

Critérios de Inclusão (CI):

- CI1 - O documento deve ser artigo científico completo ou de conferência com revisão por pares, garantindo qualidade acadêmica (KITCHENHAM et al., 2002);
- CI2 - O estudo deve contribuir diretamente para responder pelo menos uma questão de pesquisa, assegurando relevância para os objetivos do MLR (ZHANG; BABAR; TELL, 2011);
- CI3 - O estudo deve estar escrito em inglês ou português.

Critérios de Exclusão (CE):

- CE1 - Estudos secundários (revisões sistemáticas, mapeamentos) foram excluídos para evitar duplicação de esforços e focar em evidências primárias (KITCHENHAM et al., 2004);
- CE2 - Documentos sem acesso completo ao texto foram excluídos, pois análise superficial baseada apenas em abstracts poderia comprometer a qualidade da síntese (BRERETON et al., 2007).

3.3.4 Artigos de controle

Para o controle dos resultados e refinamento da string de busca, a estratégia adotada foi utilizar artigos para controle (KEELE et al., 2007). Os trabalhos foram selecionados manualmente considerando os artigos mais relevantes, com foco em morte de Ecossistemas de Software, que ajudem a responder às questões de pesquisa. Os artigos de controle (C) foram:

C1: MASSANORI, Daniel et al. **Death of a software ecosystem: a developer relations (devrel) perspective**. In: Proceedings of the XXXIV Brazilian Symposium on Software Engineering. 2020. p. 399-404.

C2: SOUPINSKI, Felipe et al. **"We are dying!" On Death Signals of Software Ecosystems**. In: Proceedings of the XXXVI Brazilian Symposium on Software Engineering. 2022. p. 363-369.

C3: ARANTES, Pedro; SOUPINSKI, Felipe; FONTÃO, Awdren. **Social Networks during Software Ecosystems' Death**. In: 2023 IEEE/ACM 11th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and Software Ecosystems (SESoS). IEEE, 2023. p. 9-12.

C4: EVERTSE, Robert et al. **Is your software ecosystem in danger? preventing ecosystem death through lessons in ecosystem health**. In: Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming—Workshops: XP 2021 Workshops, Virtual Event, June 14–18, 2021, Revised Selected Papers 22. Springer International Publishing, 2021. p. 96-105.

C5: AVELINO, Guilherme et al. **On the abandonment and survival of open source projects: An empirical investigation**. In: 2019 ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM). IEEE, 2019. p. 1-12.

3.3.5 Execução

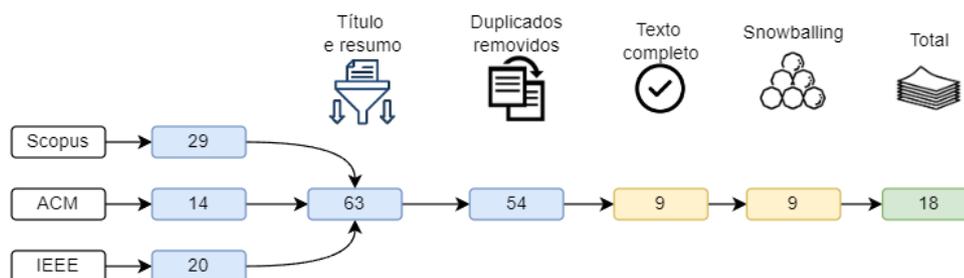


Figura 2 – Processo de filtragem da literatura acadêmica

A execução do mapeamento sistemático seguiu processo estruturado em quatro fases distintas (Figura 2):

- **Busca inicial**: Os 246 documentos recuperados foram exportados em formatos bib e csv, com metadados completos preservados para rastreabilidade. A base ACM não permitiu filtrar por campos, então foi feita uma pesquisa em todo o texto dos documentos. Foi criado um script python para filtrar os trabalhos retornados pela base ACM, usando os termos da string de busca, foram considerados os campos

título, resumo e palavras-chave. O script está disponível no pacote de replicação (cap. 7). As bases SCOPUS e IEEE permitiam a seleção dos campos para busca.

- **Triagem por título e resumo:** Análise inicial resultou em 63 documentos potencialmente relevantes. Documentos fora de escopo foram excluídos, mas casos ambíguos foram mantidos para análise detalhada.
- **Leitura completa e aplicação de critérios:** Nove estudos estavam duplicados e foram removidos resultando em 54 estudos. Os 54 documentos foram lidos integralmente. A aplicação dos critérios resultou em 9 estudos primários.
- **Snowballing:** Reconhecendo que buscas em bases de dados podem não capturar toda literatura relevante, especialmente estudos recentes ou em nichos específicos, aplicou-se técnica de snowballing (WOHLIN et al., 2022). Análise das referências (*backward*) e citações (*forward*) dos 9 estudos identificou nove publicações adicionais altamente pertinentes, totalizando 18 estudos para análise.

3.3.6 Extração e síntese de dados

A extração de dados seguiu protocolo estruturado desenvolvido especificamente para capturar informações relevantes às questões de pesquisa. Para cada estudo, os dados foram extraídos de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Dados extraídos dos estudos selecionados

Categoria	Descrição
Metadados bibliográficos	Autores, ano, venue, tipo de publicação
Contexto do estudo	Domínio do ECOS investigado, metodologia empregada
Contribuições para QP1	Causas de morte identificadas, fatores de risco
Contribuições para QP2	Fases ou estágios de declínio descritos
Contribuições para QP3	Estratégias de prevenção ou mitigação propostas
Contribuições para QP4	Métricas de saúde/declínio

A síntese empregou análise temática para identificar padrões recorrentes, convergências e divergências entre estudos (KEELE et al., 2007). Temas emergentes foram iterativamente refinados através de discussões entre os pesquisadores, resultando em uma categorização dos achados.

Tabela 2 – Estudos por questões de pesquisa.

Questão de pesquisa	Estudos selecionados
QP1: Por que um ECOS morre?	E2, E6, E7, E10, E11, E12, E15, E17, E18.
QP2: Quais são as fases em torno da morte de ECOS?	E1, E4, E8, E10, E17, E18.
QP3: Quais são as estratégias em torno da morte de ECOS?	E1, E3, E6, E7.
QP4: Quais são os indicadores que impactam na morte de um ECOS?	E1, E2, E3, E5, E7, E8, E9, E11, E12, E13, E14, E16.

Tabela 3 – Estudos selecionados.

ID	Título	Autores	Ano	Base
E1	An exploratory study on library aging by monitoring client usage in a software ecosystem	Kula R.G.; German D.M.; Ishio T.; Ouni A.; Inoue K.	2017	SCOPUS
E2	Social Networks during Software Ecosystems' Death	Arantes P.; Soupinski F.; Fontao A.	2023	SCOPUS
E3	Death of a Software Ecosystem: A Developer Relations (DevRel) perspective	Massanori D.; Cafeo B.B.P.; Wiese I.; Fontão A.	2020	SCOPUS
E4	Company Health in Mobile Software Ecosystem (MSECO): Research Perspectives and Challenges	Ribeiro M.I.C.; Dias-Neto A.C.	2017	SCOPUS
E5	Assessing open source communities' health using Service Oriented Computing concepts	Oriol M.; Franco-Bedoya O.; Franch X.; Marco J.	2014	SCOPUS
E6	Is Your Software Ecosystem in Danger? Preventing Ecosystem Death Through Lessons in Ecosystem Health	Evertse R.; Lencz A.; Šinik T.; Jansen S.; Soussi L.	2021	SCOPUS
E7	"We are dying!" On Death Signals of Software Ecosystems	Soupinski F.; Arantes P.; Steinmacher I.; Wiese I.; Borges H.; Cafeo B.; Fontão A.	2022	SCOPUS
E8	Toward Using Package Centrality Trend to Identify Packages in Decline	S. Mujahid; D. E. Costa; R. Abdalkareem; E. Shihab; M. A. Saied; B. Adams	2021	IEEE
E9	Where to Go Now? Finding Alternatives for Declining Packages in the npm Ecosystem	S. Mujahid; D. E. Costa; R. Abdalkareem; E. Shihab	2023	IEEE
E10	Software aging	Lorge, Parnas David.	1994	Backward Snowballing
E11	On the abandonment and survival of open source projects: An empirical investigation	Guilherme Avelino, Eleni Constantinou, Marco Tulio Valente, Alexander Serebrenik	2019	Backward Snowballing
E12	Health Vulnerabilities in Software Ecosystems: Five Cases of Dying Platforms.	Soussi, Lamia.	2018	Backward Snowballing
E13	Identifying unmaintained projects in github	Coelho, J., Valente, M. T., Silva, L. L., & Shihab, E.	2018	Backward Snowballing
E14	Is it all lost? A study of inactive open source projects	Khondhu, Jymit, Andrea Capiiluppi, and Klaas-Jan Stol.	2013	Backward Snowballing
E15	Why modern open source projects fail	Coelho, Jailton. Valente, Marco Tulio.	2017	Backward Snowballing

Continua na próxima página.

Tabela 3 – Continua na próxima página.

ID	Título	Autores	Ano	Base
E16	Success and abandonment in open source commons: Selected findings from an empirical study of sourceforge.net projects.	Schweik123, C., English34, B., Painjton, Q., & Haire, S.	2010	Backward Snowballing
E17	An empirical study on the survival rate of GitHub projects	Ait, A., Izquierdo, J. L. C., & Cabot, J.	2022	Forward Snowballing
E18	The Life and Death of Software Ecosystems	Gaikovina Kula, R., & Robles, G.	2023	Forward Snowballing

3.3.7 Resultados

A análise dos 18 estudos selecionados revelou padrões consistentes e insights complementares sobre o fenômeno da morte de ECOS. Os resultados são apresentados estruturados pelas questões de pesquisa, integrando as contribuições de múltiplos estudos para construir uma compreensão do fenômeno.

QP1: Por que um ECOS morre?

A análise identificou cinco categorias principais de causas: **(i) Envelhecimento e obsolescência tecnológica**: deterioração inevitável através de modificações sucessivas e incompatibilidade com novas tecnologias; **(ii) Fatores sociais e comunitários**: deterioração dos laços comunitários e declínio no engajamento; **(iii) Decisões organizacionais e falhas de governança**: abandono por mantenedores principais e mudanças estratégicas equivocadas; **(iv) Competição e pressões de mercado**: complacência competitiva e falha em reconhecer ameaças disruptivas; **(v) Insustentabilidade financeira**: ausência de modelo sustentável de financiamento.

A análise dos nove estudos relacionados a esta questão (E2, E6, E7, E10, E11, E12, E15, E17, E18) revelou categorias distintas de causas que precipitam a morte de ECOS, desde fatores técnicos até dinâmicas sociais e organizacionais.

Envelhecimento e obsolescência tecnológica emergem como causas fundamentais. E10 (Parnas) estabelece o conceito seminal de "software aging", demonstrando que o software inevitavelmente deteriora através de modificações sucessivas e mudanças no ambiente operacional. Esta deterioração manifesta-se em ECOS através de incompatibilidades crescentes, débito técnico acumulado e incapacidade de adaptação a novas tecnologias. E12 (Soussi) documenta cinco casos emblemáticos (CVS, FirefoxOS, Apache Geronimo, Maemo e Windows Phone) onde a obsolescência tecnológica precipitou colapsos. Em todos os casos, a incapacidade de acompanhar mudanças tecnológicas fundamentais selou o destino desses ecossistemas.

Fatores sociais e comunitários representam segunda categoria crítica. E2 (Aran-tes et al.) demonstra, através de análise de redes sociais, que a deterioração dos laços

comunitários frequentemente precede o colapso técnico. A pesquisa revelou que métricas de centralidade e coesão da rede social podem servir como indicadores precoces de declínio. E7 (Soupinski et al.) corrobora estes achados, identificando que a taxa de resposta inferior a 0,8 no Stack Overflow constitui "sinal de perigo" para ecossistemas web. A análise temporal de AngularJS, PhantomJS e Moment.js demonstrou padrões consistentes de declínio no engajamento comunitário precedendo a morte oficial.

Decisões organizacionais e falhas de governança constituem terceira categoria com impacto na morte de ECOS. E11 (Avelino et al.) identifica que abandono por mantenedores principais frequentemente desencadeia cascata de eventos levando à morte. A pesquisa revelou que projetos com governança centralizada são particularmente vulneráveis quando líderes se desengajam. E15 (Coelho e Valente) complementa esta perspectiva, demonstrando que projetos modernos falham não apenas por razões técnicas, mas primariamente por decisões estratégicas equivocadas, incluindo mudanças abruptas de direção, alienação da comunidade e subestimação de concorrentes.

Competição e pressões de mercado emergem como fator crítico. E6 (Evertse et al.) documenta anti-padrões fatais, incluindo complacência competitiva e falha em reconhecer ameaças disruptivas. O estudo enfatiza que "ecossistemas que param de inovar começam a morrer", ilustrando com casos onde a superioridade técnica foi insuficiente contra competidores com melhor alinhamento de mercado. E18 (Kula e Robles) oferece perspectiva longitudinal, demonstrando como ciclos de vida de ecossistemas são influenciados por dinâmicas competitivas complexas.

Sustentabilidade financeira representa preocupação transversal. E17 (Ait et al.) analisa taxa de sobrevivência de projetos GitHub, revelando que a ausência de modelo sustentável de financiamento correlaciona fortemente com a mortalidade. Projetos dependentes exclusivamente de voluntários demonstram vulnerabilidade particular a flutuações no engajamento comunitário.

QP2: Quais são as fases em torno da morte de ECOS?

A morte de ECOS segue trajetória identificável através de quatro fases distintas: (i) **Envelhecimento inicial**: sinais sutis de deterioração e migração gradual de usuários; (ii) **Declínio manifesto**: indicadores mensuráveis como redução na centralidade de pacotes e aumento no tempo de resposta; (iii) **Fase mórbida/crítica**: ponto de inflexão com êxodo de desenvolvedores-chave e fragmentação comunitária (inatividade > 6 meses raramente reversível); (iv) **Fase terminal e pós-morte**: incluindo morte súbita, gradual ou estado zumbi. A progressão não é necessariamente linear, com possibilidade de recuperação nas fases iniciais.

Seis estudos (E1, E4, E8, E10, E17, E18) contribuem para a compreensão das fases evolutivas, revelando que a morte de ECOS segue trajetória identificável através de

estágios distintos.

Fase de envelhecimento inicial é caracterizada por sinais sutis de deterioração. E1 (Kula et al.) introduz o conceito de "library aging", demonstrando através de monitoramento de uso de clientes que ecossistemas começam a declinar quando deixam de acompanhar necessidades evolutivas de seus usuários. O estudo identifica padrões de migração gradual, onde desenvolvedores começam a explorar alternativas antes do abandono completo. E10 (Parnas) fundamenta teoricamente esta fase, explicando como a complexidade crescente e modificações *ad-hoc* criam fragilidades sistêmicas.

Fase de declínio manifesto caracteriza-se por indicadores mensuráveis de deterioração. E8 (Mujahid et al.) propõe o uso de "package centrality trend" para identificar pacotes em declínio no ecossistema npm. A pesquisa demonstra que o declínio na centralidade, medida pela importância relativa de um pacote na rede de dependências, precede outras manifestações de morte. Esta fase inclui redução na frequência de atualizações, aumento no tempo de resposta a *issues*, e crescimento de *forks* competitivos.

Fase mórbida ou crítica representa ponto de inflexão onde recuperação torna-se improvável sem intervenção significativa. E4 (Ribeiro e Dias-Neto) examina saúde de ecossistemas móveis (MSECO), identificando que esta fase caracteriza-se por êxodo de desenvolvedores-chave, fragmentação da comunidade e deterioração acelerada de métricas vitais. E17 (Ait et al.) quantifica esta fase, demonstrando que projetos que permanecem inativos por período superior a seis meses raramente recuperam vitalidade.

Fase terminal e pós-morte inclui tanto o processo de descontinuação quanto o período subsequente. E18 (Kula e Robles) oferece taxonomia detalhada desta fase, distinguindo entre morte súbita (descontinuação abrupta), morte gradual (*phase-out* planejado), e estados zumbis (projetos tecnicamente vivos mas funcionalmente mortos). O estudo enfatiza que mesmo após a morte oficial, ecossistemas podem persistir em estados liminares, sustentados por dependências legadas.

A progressão através destas fases não é necessariamente linear ou irreversível. Múltiplos estudos documentam casos de recuperação, particularmente quando intervenções ocorrem nas fases iniciais. Contudo, a evidência sugere a existência de "pontos de não-retorno" além dos quais o declínio torna-se autocatalítico.

QP3: Quais são as estratégias em torno da morte de ECOS?

Quatro categorias de estratégias emergiram: **(i) Preventivas**: monitoramento contínuo, diversificação de contribuidores, governança transparente e *roadmap* alinhado; **(ii) De intervenção**: campanhas de reengajamento, modernização técnica acelerada e *pivoting* estratégico (sucesso depende do *timing*); **(iii) Developer Relations**: comunicação bidirecional, programas de incentivo, suporte responsivo e

advocacy interno como "seguro" contra crises; **(iv) Transição e reciclagem**: ferramentas de migração automatizada, documentação de *upgrade paths*, preservação de conhecimento e comunicação transparente sobre descontinuação.

Quatro estudos (E1, E3, E6, E7) oferecem perspectivas complementares sobre estratégias empregadas para prevenir, mitigar ou gerenciar a morte de ECOS.

Estratégias preventivas focam em manter a vitalidade do ecossistema. E6 (Evertse et al.) sintetiza lições de múltiplos casos, propondo o framework de "*ecosystem health*" baseado em monitoramento contínuo de indicadores vitais. As estratégias incluem: diversificação da base de contribuidores para reduzir dependência de indivíduos; estabelecimento de governança transparente e inclusiva; manutenção de *roadmap* técnico alinhado com as necessidades da comunidade; e cultivo ativo de relacionamentos com desenvolvedores. O estudo enfatiza que a prevenção requer investimento contínuo, não apenas reação a crises.

Estratégias de intervenção abordam ecossistemas em declínio. E7 (Soupinski et al.) documenta padrões de resposta a "*death signals*", incluindo campanhas de reengajamento comunitário, modernização técnica acelerada e *pivoting* estratégico. A análise de AngularJS revela sucesso parcial de estratégia de migração planejada, onde a Google facilitou a transição para o Angular através de ferramentas automatizadas e documentação extensiva. Contrastivamente, PhantomJS demonstra fracasso de intervenções tardias, onde tentativas de revitalização ocorreram após ponto de não-retorno.

Estratégias de Developer Relations (DevRel) emergem como abordagem crítica. E3 (Massanori et al.) analisa o papel de DevRel na morte do Windows Phone, demonstrando como falhas em nutrir relacionamentos com desenvolvedores aceleram o declínio. O estudo propõe um modelo de DevRel proativo, incluindo: comunicação bidirecional consistente; programas de incentivo alinhados com as necessidades dos desenvolvedores; suporte técnico responsivo; e *advocacy* interno para necessidades da comunidade. A pesquisa sugere que investimento em DevRel pode servir como "seguro" contra crises futuras.

Estratégias de transição e reciclagem abordam gestão do inevitável. E1 (Kula et al.) documenta padrões de migração bem-sucedida, onde ecossistemas moribundos facilitam a transição suave para alternativas. Estratégias incluem: desenvolvimento de ferramentas de migração automatizada; documentação de caminhos de *upgrade*; preservação de conhecimento através de arquivamento; e comunicação transparente sobre *timelines* de descontinuação. O conceito de "reciclagem de recursos" emerge como prática ética, respeitando investimentos da comunidade.

QP4: Quais são as métricas que impactam na morte de um ECOS?

Identificaram-se quatro categorias de métricas: **(i) Técnicas:** frequência de commits, tempo de resposta a PRs, taxa de fechamento de issues, centralidade de pacotes; **(ii) Sociais/comunitárias:** densidade da rede, centralidade de *betweenness*, diversidade de contribuidores, padrões de comunicação; **(iii) Comportamentais:** taxa de resposta em repositórios de Q&A (limiar crítico: 0,8), padrões de abandono em cascata; **(iv) Compostos/contextuais:** integração de múltiplas métricas calibradas por contexto.

Doze estudos (E1, E2, E3, E5, E7, E8, E9, E11, E12, E13, E14, E16) contribuem para a identificação de indicadores, revelando a natureza multidimensional do monitoramento de saúde de ECOS.

Métricas técnicas representam a categoria mais objetivamente mensurável. E13 (Coelho et al.) propõe modelo para identificar projetos "*unmaintained*" baseado em métricas de atividade: frequência de *commits*, tempo de resposta a *pull requests*, e taxa de fechamento de *issues*. E8 (Mujahid et al.) introduz métricas de centralidade e tendência, demonstrando que o declínio na importância relativa de componentes prediz deterioração sistêmica. E9 (Mujahid et al.) complementa com análise de alternativas, sugerindo que a disponibilidade de substitutos viáveis acelera o abandono.

Métricas sociais e comunitárias emergem como igualmente críticos. E2 (Aran-tes et al.) aplica análise de redes sociais, identificando métricas como densidade da rede, centralidade de *betweenness* e coeficiente de *clustering* como preditores de vitalidade. E5 (Oriol et al.) adapta conceitos de *Service Oriented Computing*, propondo métricas de "*community health*" incluindo diversidade de contribuidores, distribuição de conhecimento, e padrões de comunicação. E16 (Schweik et al.) analisa projetos *SourceForge*, revelando que indicadores sociais frequentemente precedem indicadores técnicos no sinal de declínio.

Métricas comportamentais capturam dinâmicas humanas subjacentes. E7 (Sou-pinski et al.) identifica a taxa de resposta em repositórios de Q&A como *proxy* para engajamento comunitário, sugerindo limiar de 0,8 como crítico. E11 (Avelino et al.) examina padrões de abandono, revelando que a saída de contribuidores periféricos frequentemente precede o abandono por mantenedores centrais, sugerindo efeito cascata. E14 (Khondhu et al.) analisa projetos inativos, distinguindo entre dormência temporária e morte definitiva através de padrões comportamentais.

Métricas compostas e contextuais reconhecem a complexidade do fenômeno. E3 (Massanori et al.) propõe um índice composto integrando métricas técnicas, sociais e de mercado para avaliação holística. E12 (Soussi) enfatiza a importância do contexto, demonstrando que limiares variam significativamente entre domínios e estágios de maturidade. A síntese sugere que o monitoramento efetivo requer combinação de múltiplos

indicadores e métricas, calibrados para o contexto específico do ecossistema.

3.4 Mapeamento de Literatura Cinza

A segunda etapa do mapeamento de literatura multivocal foi conduzir um estudo de mapeamento de literatura cinza, reportado nesta seção. O mapeamento de literatura cinza se concentra nas percepções dos profissionais (KAMEI et al., 2021) sobre a morte de ECOS, que podem fornecer *insights* sobre o fenômeno.

Para ajudar a responder às questões de pesquisa definidas para o mapeamento de literatura multivocal, o mapeamento de literatura cinza foi executado seguindo as diretrizes propostas por Garousi et al. (2019). Ele é indicado para esta dissertação pela morte de ECOS se tratar de um tema recente e não ter uma base sólida de trabalhos da literatura. Profissionais que vivenciaram colapsos de ecossistemas documentam suas experiências em tempo real através de blogs técnicos, *post-mortems* corporativos e discussões em fóruns especializados. Estas narrativas oferecem granularidade e contexto raramente capturados em publicações acadêmicas, revelando nuances políticas, decisões controversas e lições aprendidas que enriquecem substancialmente a compreensão do fenômeno. Assim, a voz dos praticantes pode ajudar a complementar o conhecimento sobre o tema. A seguir, será discutido cada passo do processo.

3.4.1 Estratégia de pesquisa

A construção da string de busca para literatura cinza demandou abordagem distinta daquela empregada para publicações acadêmicas. Reconhecendo que profissionais utilizam linguagem coloquial e metafórica (GAROUSI; FELDERER; MÄNTYLÄ, 2019), a estratégia foi adaptada. A string foi estruturada em dois componentes principais. O primeiro manteve foco na população (Ecossistemas de Software) mas com terminologia adaptada ao vocabulário profissional: *software*, *software ecosystems*, *developer community* e *open source community*. Estes termos, validados por (CUNHA, 2023), ressoam com a forma como profissionais descrevem seus ambientes de trabalho.

O segundo componente expandiu o vocabulário relacionado à morte e descontinuação. Além dos termos acadêmicos, incorporaram-se metáforas e expressões comuns na indústria: *graveyard* (cemitério de projetos), *deprecated* (depreciado), e variações coloquiais. Esta expansão, baseada em (COELHO et al., 2020), visa capturar a variedade de formas como profissionais expressam o fim de um ECOS.

O processo de refinamento envolveu três ciclos iterativos de teste no *Google Search*, ajustando termos com base na relevância dos resultados. A primeira tentativa foi com a mesma string utilizada no mapeamento sistemático, e não capturou resultados relevantes. Na segunda tentativa, foi removida a parte dois da string relacionada à manutenção, pois

trazia muito ruído à busca, resultando em 119 documentos. Por fim, na versão final, foi adicionado o termo 'software' na parte um da string, na tentativa de selecionar documentos falando da morte de um software que é plataforma de um ECOS e refere-se a ele. Foram também adicionados os termos 'cemetery' e 'graveyard' na parte dois da string, referentes a cemitérios de software, que resultou em 265 documentos. A string final demonstrou eficácia em recuperar conteúdo relevante enquanto minimizava ruído:

```
("software" OR "software ecosystems" OR "developer community" OR
  "open source community")
  AND
("death" OR "dead" OR "die*" OR "dying" OR "static" OR "sick*" OR
  "discontinu*" OR "unmaintained" OR "End-of-life" OR "demise*" OR
  "aging" OR "cemetery" OR "graveyard")
```

3.4.2 Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios para literatura cinza foram adaptados para refletir a natureza diversa dessas fontes, mantendo rigor na seleção:

Critérios de Inclusão (CI):

- CI1 - Documento deve contribuir substantivamente para, pelo menos, uma questão de pesquisa;
- CI2 - Conteúdo deve ser primariamente textual, permitindo análise sistemática.

Critérios de Exclusão (CE):

- CE1 - Conteúdo duplicado ou republicado sem adição de valor;
- CE2 - Conteúdo com acesso restrito ou indisponível publicamente.

3.4.3 Execução

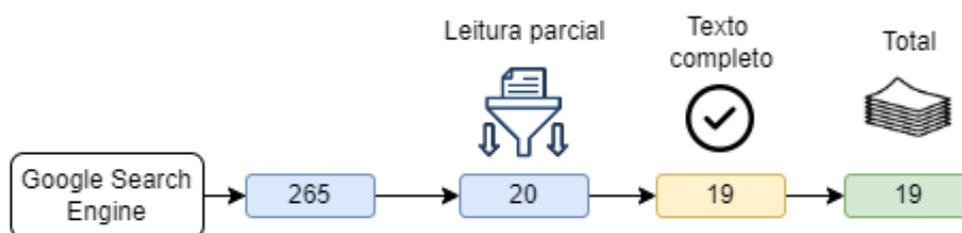


Figura 3 – Processo de filtragem da literatura cinza

A busca foi executada em março de 2024 utilizando *Google Search internacional*, retornando 265 resultados. Para garantir imparcialidade, utilizou-se navegação anônima, eliminando influência de histórico pessoal ou localização. O processo de seleção, ilustrado na Figura 3, seguiu as seguintes etapas:

Fase de pré-seleção: Os 265 resultados foram acessados individualmente para avaliação preliminar. Esta fase identificou 20 documentos com clara relevância temática. Observou-se que termos como "static" e "end-of-life", embora geradores de ruído, capturaram documentos valiosos que utilizavam essas metáforas, justificando sua manutenção.

Fase de análise: Leitura completa dos 20 documentos pré-selecionados, aplicando os critérios. Apenas um documento foi excluído por ser republicação sem conteúdo adicional, resultando em 19 documentos.

O processo foi conduzido por pesquisador com cinco anos de experiência e validado por pesquisador sênior com dez anos de experiência em engenharia de software, garantindo consistência nas decisões de seleção. A qualidade dos documentos foi validada por meio da autoridade do autor, verificada nos ambientes GitHub e LinkedIn, e conferência das informações descritas. O resultado, dos documentos selecionados, pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4 – Documentos selecionados.

ID	Título	Link
D1	What is the life and death of software ecosystems?	https://typeset.io/questions/what-is-the-life-and-death-of-software-ecosystems-5ers5jj4i0
D2	When software ecosystems die	https://codewithoutrules.com/2017/01/02/when-software-dies/
D3	Is Open Source Dying Out?	https://techhq.com/2022/08/open-source-coding-development-platform-dying-out/
D4	What do we really mean when we say that software is 'dead' or 'dying'?	https://hub.packtpub.com/what-do-we-really-mean-when-we-say-that-software-is-dead-or-dying/
D5	Standard Software Is Dying: Get Fully Customisable Digital Independence	https://www.uffective.com/2023/05/04/standard-software-dying/
D6	Is There Life After End-Of-Life For Your Open-Source Software?	https://www.herodevs.com/blog-posts/is-there-life-after-end-of-life-for-your-open-source-software
D7	Is it a dead end for the Software graveyard products?	https://medium.com/@ronaldssebalamu/is-it-a-dead-end-for-the-software-graveyard-products-7a0aff0de6bb
D8	Killed by Microsoft	https://killedbymicrosoft.info/
D9	Killed by Google	https://killedbygoogle.com/
D10	Is The Antivirus Software Now Dead?	https://www.acecloudhosting.com/blog/is-antivirus-software-dead/
D11	Is Open Source Software Dead?	https://www.cyberark.com/resources/blog/is-open-source-software-dead
D12	The Dead Software Foundation	https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/the_dead_software_foundation.pdf
D13	8 Signs your software development project is aging poorly	https://spiralscout.com/blog/8-signs-your-software-development-project-is-aging-poorly
D14	End-of-life software: What are the dangers?	https://www.spiceworks.com/it-articles/end-of-life-software-dangers/

Continua na próxima página.

Tabela 4 – Continua na próxima página.

ID	Título	Link
D15	End-of-Life Software: Definition, Risks & Solutions	https://www.simform.com/blog/end-of-life-software/
D16	How Software Companies Die – Orson Scott Card	https://homepages.uc.edu/~thomam/Articles/HowSoftwareCompaniesDie.pdf
D17	End of Life Software: Examples, Challenges, and Strategies	https://radixweb.com/blog/end-of-life-software
D18	The Definitive Guide To End-Of-Life Software: Risks & Solutions	https://carecomputers.co.uk/the-definitive-guide-to-end-of-life-software-risks-solutions/
D19	Adobe Flash Player EOL General Information Page	https://www.adobe.com/products/flashplayer/end-of-life.html

Em seguida, os documentos foram organizados de acordo com as questões de pesquisa que respondem. Realizou-se uma análise temática (KEELE et al., 2007) para sintetizar as respostas. Os resultados desta etapa podem ser visualizados na tabela 5.

Tabela 5 – Documentos selecionados por questão de pesquisa.

Questão de pesquisa	Documentos selecionados
QP1: Por que um ECOS morre?	D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16, D17, D18, D19.
QP2: Quais são as fases em torno da morte de ECOS?	D2, D3, D6, D7, D10, D12, D14, D15, D17, D18, D19.
QP3: Quais são as estratégias em torno da morte de ECOS?	D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D10, D13, D14, D15, D18, D19.
QP4: Quais são as métricas que impactam na morte de um ECOS?	D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D10, D11, D13, D14, D15, D16, D17, D18.

3.4.4 Caracterização dos documentos selecionados

Os 19 documentos selecionados representam diversidade de perspectivas profissionais:

- **Post-mortems corporativos** (cinco documentos): Análises detalhadas de falhas de ecossistemas, incluindo casos emblemáticos como Windows Phone e Flash Player
- **Blogs técnicos** (oito documentos): Reflexões de desenvolvedores e arquitetos sobre experiências com ecossistemas em declínio

- **Relatórios industriais** (três documentos): Análises setoriais sobre tendências de descontinuação
- **Discussões em fóruns especializados** (três documentos): Debates comunitários sobre sinais de alerta e estratégias de sobrevivência

3.4.5 Resultados

A análise da literatura cinza revelou perspectivas práticas e experiências industriais sobre morte de ECOS que complementam os achados acadêmicos. Os 19 documentos analisados oferecem *insights* provenientes de diferentes setores da indústria, desde desenvolvedores independentes até corporações.

QP1: Por que um ECOS morre?

(i) **Descontinuação estratégica corporativa**: empresas interrompem suporte por reorientação de negócios; (ii) **Competição e obsolescência**: incapacidade de competir com soluções modernas ou convenientes; (iii) **Insustentabilidade financeira**: ausência de modelos viáveis de monetização em projetos *open source*; (iv) **Fatores técnicos**: vulnerabilidades de segurança, incompatibilidades e débito técnico; (v) **Fragmentação comunitária**: conflitos sobre direcionamento e pressões comerciais que dividem comunidades.

A análise dos documentos sobre as causas de morte de ECOS revelou uma perspectiva prática que enfatiza fatores comerciais e operacionais.

Descontinuação estratégica corporativa emerge como fator dominante na literatura cinza. Os sites "Killed by Google"(D9) e "Killed by Microsoft"(D8) documentam sistematicamente produtos descontinuados por essas corporações, revelando padrões recorrentes. Como observado, "O Microsoft Graveyard é o cemitério virtual de todos os produtos descontinuados pela Microsoft; uma coleção gratuita e de código aberto de produtos descontinuados da Microsoft, criada por uma comunidade apaixonada e nostálgica."(D8). A análise desses repositórios revela que decisões corporativas frequentemente priorizam a otimização de portfólio sobre a continuidade de sistemas, mesmo quando tecnicamente viáveis.

Competição e obsolescência tecnológica manifestam-se através da incapacidade de ecossistemas estabelecidos competirem com soluções modernas. Um documento observa que "Os ecossistemas de software não se desenvolvem cronologicamente - não é um caso de vida ou morte, mas sim diferentes ecossistemas, todos evoluindo de maneiras diferentes e em momentos diferentes"(D4). Esta perspectiva desafia noções lineares de evolução tecnológica, sugerindo que a morte frequentemente resulta de falhas em adaptar-se a mudanças no panorama competitivo.

Insustentabilidade financeira representa preocupação central para projetos *open source*. A literatura cinza revela que "grandes corporações agora se beneficiam de projetos de código aberto sem retribuir à comunidade, causando um modelo insustentável"(D3, D11). Este "parasitismo corporativo", onde empresas usufruem de trabalho voluntário sem contribuir adequadamente, tem levado a "esgotamento do desenvolvedor e instabilidade financeira"(D3).

Fatores técnicos ganham dimensão prática na literatura cinza através da documentação de vulnerabilidades específicas. Documenta-se que "quando o software atinge o EOL, ele não receberá mais patches ou atualizações de segurança, deixando-o para ser febrilmente desmontado por malfeitores em busca de vulnerabilidades"(D14, D15, D17, D18). Casos como WannaCry, que explorou vulnerabilidades em sistemas Windows obsoletos, exemplificam como debilidades técnicas podem precipitar abandono em massa.

Fragmentação comunitária revela-se através de conflitos sobre comercialização e governança. É documentado como "cada divisão na comunidade, pode-se argumentar que a própria comunidade fica mais fraca e mais sujeita à dissolução"(D3). O caso de migração de desenvolvedores do GitHub, devido a preocupações sobre a comercialização do Copilot, ilustra como tensões entre ideais *open source* e realidades comerciais fragmentam comunidades.

QP2: Quais são as fases em torno da morte de ECOS?

(i) **Sinais de declínio**: redução na frequência de atualizações e comunicação comunitária; (ii) **Anúncio de End-of-Life**: comunicação oficial sobre descontinuação; (iii) **Período de suporte limitado**: manutenção apenas de correções críticas; (iv) **Suporte estendido**: programas pagos para organizações dependentes; (v) **Estado zumbi**: software continua funcionando mas sem manutenção, representando riscos crescentes de segurança.

A literatura cinza oferece descrições do processo temporal que caracteriza a morte de ECOS, baseadas em experiências diretas de profissionais da indústria.

Sinais de declínio inicial são caracterizados por mudanças sutis nos padrões de comunicação e desenvolvimento. A literatura profissional (D13, D14, D15) documenta indicadores como "discussões em fóruns de usuários sobre falta de suporte ou atualizações"(D15) e redução na frequência de *releases*. Esta fase é crucial pois ainda permite intervenções preventivas.

Anúncio oficial de End-of-Life marca transição formal para descontinuação. Os documentos revelam que organizações frequentemente anunciam EOL com antecedência variável, desde literalmente semanas após o lançamento para produtos como Microsoft Kin, até vários anos para sistemas estabelecidos (D16). A qualidade da comunicação

nesta fase influencia significativamente a percepção comunitária sobre a organização.

Período de suporte limitado caracteriza-se pela manutenção apenas de correções críticas de segurança. Durante esta fase, "o software é fornecido 'como está', sem garantia de qualquer tipo"(D4), mas organizações responsáveis continuam endereçando vulnerabilidades sérias. A duração desta fase varia significativamente entre diferentes tipos de software e modelos de negócio.

Suporte estendido pago emerge como estratégia comercial para organizações dependentes de sistemas *legacy*. Microsoft, por exemplo, oferece "Windows 10 Extended Security Updates program"(D17) para empresas que não podem migrar imediatamente. Esta fase reconhece realidades operacionais onde migração instantânea é impraticável.

Estado zumbi representa fase final onde software permanece tecnicamente funcional mas representa riscos crescentes. O estado zumbi refere-se às atividades nos repositórios serem executadas por bots. A literatura documenta que "mesmo o software em fim de vida que não é mais suportado por fornecedores ou mantenedores ainda pode ter uma vida após a morte em projetos mal gerenciados"(D4). Esta fase é particularmente perigosa pois combina funcionalidade aparente com vulnerabilidades não corrigidas.

QP3: Quais são as estratégias em torno da morte de ECOS?

Quatro categorias de estratégias emergiram: **(i) Prevenção proativa**: inventário de ativos, políticas de ciclo de vida e monitoramento contínuo; **(ii) Gestão de transição**: planejamento de migração, comunicação transparente e suporte durante mudança; **(iii) Soluções alternativas**: modernização, migração para cloud e desenvolvimento de substitutos; **(iv) Mitigação de riscos**: isolamento de sistemas, controles compensatórios e monitoramento de segurança intensificado.

A literatura cinza oferece estratégias práticas desenvolvidas por organizações que enfrentaram situações reais de morte de ECOS, proporcionando orientação operacional.

Estratégias preventivas focam em identificação precoce e planejamento proativo. A literatura recomenda manter um inventário preciso e atualizado de todos os ativos de TI, incluindo status de ciclo de vida (D14, D15, D17). Organizações maduras implementam políticas abrangentes de gerenciamento do ciclo de vida para software e hardware que incluem orçamento alinhado com cronogramas de EOL.

Gestão de transição aborda o processo de mudança quando a morte torna-se inevitável. A literatura enfatiza que a transição para novos sistemas é um processo complexo que requer planejamento e execução cuidadosos (D15, D17, D18). Estratégias incluem desenvolvimento de cronogramas realistas, comunicação regular com stakeholders, e implementação de "programa de treinamento abrangente para familiarizar os usuários com o novo software"(D17).

Soluções alternativas exploram opções tecnológicas para substituir ECOS mortos. A literatura sugere "avaliar soluções em nuvem é como considerar uma fortaleza com atualizações automáticas e segurança aprimorada" (D17), oferecendo alternativa que reduz o fardo de manutenção interna. Outras estratégias incluem a modernização de aplicações existentes e o desenvolvimento de substitutos personalizados.

Mitigação de riscos reconhece que nem sempre a migração imediata é possível. Para estas situações, a literatura recomenda que o monitoramento proativo e a resposta a incidentes sejam componentes essenciais do gerenciamento dos riscos de segurança (D14, D15). Estratégias incluem isolamento de sistemas *legacy*, implementação de controles compensatórios, e monitoramento intensificado de atividades suspeitas.

QP4: Quais são as métricas que impactam na morte de um ECOS?

(i) **Suporte**: frequência de atualizações, tempo de resposta a problemas críticos, comunicação oficial sobre futuro do produto; (ii) **Comunidade**: volume de discussões, questões sobre status do projeto, migração de desenvolvedores-chave; (iii) **Técnicas**: vulnerabilidades não-corrigidas, incompatibilidades crescentes, problemas de performance; (iv) **Comerciais**: mudanças de estratégia empresarial, pressões competitivas, modelos de monetização; (v) **Comportamentais**: sentimento da comunidade, questionamentos sobre viabilidade futura.

A literatura cinza oferece métricas práticas baseadas em observações diretas de profissionais da indústria, complementando métricas acadêmicas com sinais qualitativos.

Métricas de suporte oficial representam sinais concretos de declínio iminente. A literatura documenta que o aumento de problemas de segurança não resolvidos frequentemente precede anúncios oficiais de EOL (D14, D15). Outros indicadores incluem redução na frequência de *releases*, aumento no tempo de resposta para problemas críticos, e mudanças sutis na linguagem de comunicação oficial sobre compromissos futuros.

Métricas comunitárias capturam mudanças na dinâmica social do ecossistema. A literatura observa que quando projetos começam a declinar, "Alguém poderia perguntar: Este pacote ainda está em desenvolvimento?" (D11), indicando preocupação crescente sobre a viabilidade. O surgimento de perguntas sobre o status do projeto em fóruns e *issues* do GitHub representa sinal precoce de ansiedade comunitária.

Métricas técnicas manifestam-se através de deterioração observável na qualidade do software. A literatura documenta que "o software em fim de vida útil pode se tornar cada vez menos eficaz com dispositivos, sistemas operacionais e aplicativos mais novos" (D13) devido a incompatibilidades crescentes (D15). Vulnerabilidades de segurança não corrigidas e problemas de performance também são apontados como indicadores de negligência técnica.

Métricas comerciais refletem pressões econômicas e estratégicas. A literatura revela que mudanças na estratégia empresarial frequentemente precedem a morte de produtos. O caso do HashiCorp, que "retirou toda a sua comunidade de desenvolvimento e abandonou o código aberto em favor da 'Business Source License'"(D11), exemplifica como pressões comerciais podem precipitar o abandono de compromissos de longo prazo.

Métricas comportamentais capturam mudanças qualitativas na percepção e sentimento da comunidade. A literatura documenta um fenômeno onde "perguntando se um projeto de código aberto está morto"(D11) torna-se mais frequente, indicando erosão da confiança comunitária. Estas métricas subjetivas podem preceder manifestações quantitativas mensuráveis (D11).

3.5 Síntese Multivocal

A síntese multivocal integra sistematicamente os achados do mapeamento sistemático da literatura (18 estudos) e do mapeamento de literatura cinza (19 documentos), seguindo as diretrizes propostas por (GAROUSI; FELDERER; MÄNTYLÄ, 2019) para estudos multivocais em engenharia de software. Esta integração revela convergências, divergências e complementaridades entre perspectivas acadêmicas e práticas industriais sobre o fenômeno da morte de ECOS.

3.5.1 Convergências

A análise revela convergências significativas entre literatura acadêmica e cinza em aspectos fundamentais do fenômeno. Ambas as perspectivas identificam categorias similares de causas de morte, confirmando a validade dos achados através de múltiplas fontes de evidência.

Causas de morte: A literatura acadêmica identificou cinco categorias principais (envelhecimento tecnológico, fatores sociais, falhas organizacionais, pressões competitivas e insustentabilidade financeira), enquanto a literatura cinza corrobora estas categorias através de narrativas de experiências reais. A convergência é particularmente evidente na identificação do envelhecimento tecnológico como causa primária, com estudos acadêmicos (PARNAS, 1994; SOUSSI, 2018) e relatos industriais documentando a deterioração através de modificações sucessivas e incompatibilidade com novas tecnologias.

Indicadores técnicos: Ambas as fontes convergem na identificação de métricas objetivas como frequência de *commits*, tempo de resposta a *pull requests* e taxa de fechamento de *issues*. A literatura acadêmica (COELHO et al., 2018; MUJAHID et al., 2021) fornece fundamentação teórica, enquanto a literatura cinza oferece pontos de referência práticos derivados de experiências organizacionais reais.

3.5.2 Divergências e Complementaridades

As divergências revelam-se complementares, refletindo diferentes perspectivas sobre o mesmo fenômeno. A literatura acadêmica enfatiza rigor metodológico e generalização teórica, enquanto a literatura cinza prioriza aplicabilidade imediata e contexto específico.

Profundidade versus praticidade: A literatura acadêmica oferece análises profundas de causas subjacentes, como a demonstração por (ARANTES; SOUPINSKI; FONTÃO, 2023) de que métricas de centralidade e coesão da rede social podem servir como indicadores precoces. A literatura cinza complementa com orientações práticas imediatas, como inventários de ativos e políticas de ciclo de vida implementáveis.

Perspectiva temporal: A literatura acadêmica fornece modelos conceituais de fases de declínio, enquanto a literatura cinza documenta cronogramas reais de transição e marcos operacionais específicos. Esta complementaridade permite tanto compreensão teórica quanto aplicação prática de frameworks de intervenção.

Escopo de estratégias: Enquanto a literatura acadêmica identifica quatro categorias de estratégias (prevenção, transição, soluções alternativas e mitigação), a literatura cinza expande estas categorias com detalhes operacionais específicos, incluindo "programas de treinamento abrangentes" e avaliação de soluções cloud como "fortaleza com atualizações automáticas".

3.5.3 Síntese por Questão de Pesquisa

QP1 - Causas da morte: A síntese multivocal confirma cinco categorias principais de causas, com literatura acadêmica fornecendo fundamentação teórica e literatura cinza oferecendo evidências empíricas. A integração revela que envelhecimento tecnológico e fatores sociais constituem causas primárias, enquanto decisões organizacionais funcionam como catalisadores que aceleram processos de declínio já iniciados.

QP2 - Fases: A literatura acadêmica identifica padrões teóricos de deterioração através de fases distintas (COELHO et al., 2018; MUJAHID et al., 2021), enquanto a literatura cinza documenta marcos operacionais específicos observados em transições reais. A síntese sugere modelo híbrido que combina fases conceituais com indicadores práticos mensuráveis.

QP3 - Estratégias: A convergência multivocal confirma quatro categorias estratégicas: prevenção proativa, gestão de transição, soluções alternativas e mitigação de riscos. A literatura acadêmica fornece frameworks conceituais (EVERTSE et al., 2021), enquanto a literatura cinza oferece protocolos operacionais específicos para implementação.

QP4 - Métricas: A síntese identificou 26 métricas. Ambas as literaturas apresen-

taram métricas de suporte, comunidade, comportamentais e técnicas. A academia complementou com métricas contextuais enquanto a indústria com comerciais. A literatura acadêmica estabelece fundamentação teórica (FOTROUSI et al., 2014; HYRYNSALMI et al., 2015), enquanto a literatura cinza fornece pontos de referência calibrados para contextos organizacionais específicos.

3.5.4 Contribuições da Perspectiva Multivocal

A integração multivocal produz corpo de conhecimento que transcende limitações individuais de cada fonte. A literatura acadêmica oferece rigor metodológico, generalização teórica e validação empírica, enquanto a literatura cinza contribui com relevância contextual, aplicabilidade imediata e insights emergentes da prática industrial.

Esta síntese estabelece uma fundação para o desenvolvimento de ferramentas híbridas que combinam profundidade analítica com praticidade operacional. A validação cruzada entre fontes fortalece a confiabilidade dos achados, enquanto as complementaridades identificadas expandem o escopo de aplicabilidade dos resultados.

A perspectiva multivocal revela que a morte de ECOS constitui fenômeno complexo que requer abordagem integrada, combinando monitoramento proativo baseado em evidências acadêmicas com estratégias operacionais derivadas de experiências práticas. Esta integração viabiliza desenvolvimento de ferramentas de diagnóstico e frameworks de intervenção que são, simultaneamente, teoricamente fundamentados e praticamente aplicáveis.

A síntese confirma a necessidade de abordagens multidimensionais para compreensão e gestão da morte de ECOS, onde perspectivas acadêmicas e industriais se complementam para formar compreensão holística do fenômeno. Os achados convergentes estabelecem consenso sobre aspectos fundamentais, enquanto as divergências identificadas revelam oportunidades para pesquisa futura e desenvolvimento de soluções mais robustas.

4 Catálogo de métricas

4.1 Motivação e Estratégia de Pesquisa

A complexidade dos ECOS demanda abordagens metodológicas robustas para a validação de métricas, uma vez que estes sistemas caracterizam-se por redes interdependentes de componentes, *stakeholders* heterogêneos e dinâmicas evolutivas que não podem ser adequadamente capturadas por métodos de avaliação únicos (MILLER, 2008). A triangulação de métricas pode ser usada como estratégia metodológica para obter perspectivas na medição de atributos críticos dos ECOS, conforme demonstrado por (KUDRIAVTSEVA; GADYATSKAYA, 2024) em estudos de métricas de segurança, que revelaram discrepâncias entre literatura acadêmica, práticas industriais e percepções de especialistas. Esta abordagem facilita a validação cruzada de dados (Better Evaluation, 2024) através da convergência de informações de diferentes fontes (PATTON, 1999).

A validação de métricas em ECOS constitui tarefa difícil devido à ausência de metodologias teóricas e empíricas consolidadas (SRINIVASAN; DEVI, 2014), exigindo que a triangulação metodológica integre dados quantitativos (p.ex: observações, métricas objetivas) e qualitativos (p.ex: entrevistas, percepções de stakeholders, análise documental) para enriquecer os resultados através de explicação de diferentes aspectos do fenômeno investigado. Esta estratégia permitiu integrar métricas identificadas na literatura acadêmica e cinza com métricas de saúde de ECOS, proporcionando catálogo que captura tanto aspectos técnicos quanto percepções de especialistas sobre relevância prática.

A triangulação foi utilizada como estratégia de pesquisa para reunir as métricas encontradas no mapeamento de literatura multivocal (Capítulo 3) com as presentes em estudos de saúde de ECOS. Essa junção motivou-se pela necessidade de complementar as métricas encontradas na MLR para, assim, responder à questão de pesquisa "[QP2]: Quais são as métricas de morte de ECOS?". Os estudos de saúde não endereçam questões sobre aplicabilidade das métricas de acordo com o ciclo de vida de um ECOS. Deste modo, as métricas de saúde podem ou não ser relevantes para a análise de ECOS mortos ou em fases terminais, devendo ser realizados estudos para verificação.

4.2 Execução

A revisão multivocal da literatura capturou 25 métricas da literatura cinza e acadêmica. Aconteceu de uma métrica ter ocorrência em mais de uma fonte, com as mais citadas sendo Incompatibilidade (D6, D11, D13, D14, D15, D17, D18) e Custos Operaci-

onais (D6, D11, D13, D17, D18). Ocorreram métricas que apareceram tanto na academia quanto na indústria: Resolução de issues (E7, D1) e Taxa de resposta no StackOverflow (E3, E7, D1).

Foi conduzida uma revisão *ad-hoc* (BALTES; RALPH, 2024) com o propósito de encontrar estudos secundários que tivessem questão de pesquisa visando mapear métricas de saúde. Amorim et al. (2017) conduziram revisão sistemática com foco em identificar como a saúde de ECOS estava sendo avaliada (AMORIM et al., 2017a). A QP5 do estudo é "Quais são as métricas utilizadas para medir a saúde dos ecossistemas de software?", motivando-se a identificar métricas comumente usadas na avaliação da saúde. O estudo reuniu 238 métricas dos últimos anos de pesquisa em saúde de ECOS com os metadados de nome e descrição. Não foram encontrados estudos secundários mais recentes que endereçassem métricas de saúde. Estudos primários não foram incluídos devido à demanda de tempo necessária e, pelo fato de já existirem estudos secundários como o de Amorim et al. que fizeram este trabalho e disponibilizaram para a comunidade.

4.3 Definição Operacional de Métricas

Esta fase foi conduzida de acordo com as diretrizes internacionais de medição de software (ISO/IEC/IEEE. . . , 2017) para processo de definição operacional de métricas. Foram reunidos os resultados do MLR e do trabalho de Amorim et al. (2017), revisão *ad-hoc* (BALTES; RALPH, 2024), resultando em 264 métricas selecionadas.

As métricas foram operacionalizadas com os dados "ID", "Nome", "Referência" e "Definição", dados disponíveis nos estudos base. A primeira etapa de classificação e agrupamento reduziu o número de 264 para 113, agrupando métricas com definições similares e por granularidade (p. ex: número de commits por dia, por semana e por mês foram agrupados na métrica base "número de commits"). Nesta etapa foi realizada a classificação das métricas em dimensão: Social, Técnica ou Negócio, e indicador de ECOS: Robustez, Produtividade e Criação de Nicho (MANIKAS; HANSEN, 2013).

A segunda etapa de classificação e agrupamento sintetizou as 113 métricas resultantes da etapa anterior em 47 grupos de métricas. Os grupos foram organizados por síntese temática (KEELE et al., 2007), armazenando o critério utilizado no dado "Transformação". As métricas originais foram preservadas nos grupos por meio do dado "Métricas", campo tipo texto com os IDs originais separados por vírgula. Os dados finais para os grupos de métricas foram: Nome, Métricas, Quantidade de Métricas (N), Referência, Definição, Transformação, Dimensão, e Indicador de ECOS. Um exemplo de grupo é o "Número de commits", composto pelas métricas "M36, M93, M217, M224, M225, M226, M227"(N = sete), referência dos estudos originais "S12, S20, S6, S10"(AMORIM et al., 2017a), sendo definido como "Número total de commits contendo código fonte, documen-

tação e tradução", motivo da transformação sendo "Granularidade temporal e agregação de métricas similares de commits", a dimensão "Técnica" e indicador "Produtividade".

Tabela 6 – Grupos de métricas de ECOS.

ID	Nome do Grupo	N	Definição	Dimensão	Indicador
G1	Contributors and Active Developers	13	Total de contribuidores e desenvolvedores ativos por projeto	Social	Robustez
G2	Variety Metrics	13	Variedade em produtos, projetos, tecnologias, parceiros e contribuidores	Negócios	Criação de Nicho
G3	Centrality and Connectedness	12	Métricas de centralidade e conectividade no ecossistema	Social	Robustez
G4	Lines of Code Metrics	9	Métricas relacionadas a alterações nas linhas de código	Técnica	Produtividade
G5	Commit Activity	9	Atividade de commits no projeto	Técnica	Produtividade
G6	Network and Relationship	10	Métricas de rede e relacionamentos entre participantes	Social	Robustez
G7	Market Share Metrics	5	Participação de mercado e posicionamento competitivo	Negócios	Produtividade
G8	Time-based Metrics	7	Métricas temporais de evolução do ecossistema	Técnica	Produtividade
G9	File and Repository Metrics	12	Métricas relacionadas a arquivos e repositórios	Técnica	Produtividade
G10	User Engagement	12	Engajamento e interação dos usuários	Social	Criação de Nicho
G11	Extension and Plugin Metrics	8	Métricas relacionadas a extensões e plugins	Técnica	Criação de Nicho
G12	Communication Activity	8	Atividade de comunicação em listas e fóruns	Social	Robustez
G13	Event and Community	3	Eventos e participação da comunidade	Social	Robustez
G14	Quality and Satisfaction	5	Qualidade dos artefatos e satisfação dos usuários	Social	Criação de Nicho
G15	Problem Resolution	8	Resolução de problemas e tempo de resposta	Técnica	Produtividade
G16	Financial Metrics	7	Métricas financeiras dos participantes	Negócios	Produtividade
G17	Cost Metrics	6	Custos de mudança e manutenção	Negócios	Produtividade
G18	Innovation and Patents	2	Inovação e atividade de patentes	Técnica	Criação de Nicho
G19	Knowledge Creation	3	Criação de conhecimento e documentação	Social	Criação de Nicho
G20	Partnerships	2	Parcerias e colaborações	Negócios	Robustez
G21	Geographic Distribution	1	Distribuição geográfica dos participantes	Social	Criação de Nicho
G22	Contributor Expertise	2	Experiência e reputação dos contribuidores	Social	Robustez
G23	Developer Experience	3	Experiência dos desenvolvedores no projeto	Social	Robustez
G24	Project Leadership	4	Liderança e atividade principal no projeto	Social	Robustez
G25	Ecosystem Health Indicators	3	Indicadores de saúde do ecossistema	Técnica	Robustez
G26	Findability and Visibility	3	Visibilidade e facilidade de encontrar projetos	Social	Criação de Nicho
G27	Sustainability Metrics	14	Métricas de sustentabilidade e robustez do ecossistema	Técnica	Robustez
G28	Productivity Metrics	7	Produtividade total dos fatores	Técnica	Produtividade
G29	Value Creation	4	Criação de valor no ecossistema	Negócios	Criação de Nicho
G30	Contributor Diversity	6	Diversidade de tipos de contribuidores	Social	Criação de Nicho
G31	Community Growth	2	Crescimento e renovação da comunidade	Social	Criação de Nicho
G32	Project Activity	4	Atividade e evolução dos projetos	Técnica	Produtividade
G33	Number of Projects	4	Quantidade de projetos no ecossistema	Técnica	Criação de Nicho
G34	Support and Response	2	Suporte e resposta da comunidade	Social	Robustez
G35	Technical Debt	3	Dívida técnica e atualização de módulos	Técnica	Produtividade
G36	Member Effort	4	Esforço dos membros da comunidade	Social	Robustez
G37	Scientific Impact	2	Impacto científico e acadêmico	Social	Criação de Nicho

Continua na próxima página.

Tabela 6 – Continua na próxima página.

ID	Nome do Grupo	N	Definição	Dimensão	Indicador
G38	Ecosystem Stability	2	Estabilidade do grupo e trabalho	Social	Robustez
G39	Cross-ecosystem Connectivity	2	Conectividade entre ecossistemas	Social	Robustez
G40	Cluster Participation	1	Participação em clusters	Social	Robustez
G41	Platform Growth	1	Crescimento da plataforma	Técnica	Criação de Nicho
G42	Market Activity	2	Atividade em múltiplos mercados	Negócios	Criação de Nicho
G43	Asset Development	1	Desenvolvimento de ativos	Negócios	Produtividade
G44	User Loyalty	1	Lealdade dos usuários	Social	Robustez
G45	Ecosystem Entropy	1	Entropia do ecossistema	Técnica	Robustez
G46	Response Rate Analysis	1	Taxa de resposta em fóruns	Social	Robustez
G47	Decline and Abandonment	18	Indicadores de declínio e abandono de projetos	Técnica	Robustez

Nota: N = Número de métricas no grupo. As dimensões são: Social (aspectos de comunidade e relacionamentos), Técnica (aspectos de desenvolvimento e código), Negócios (aspectos de mercado e financeiros). Os indicadores de ECOS (MANIKAS; HANSEN, 2013) referem-se aos fatores de saúde do ECOS: Robustez (capacidade de resistir a perturbações), Criação de Nicho (capacidade de criar variedade), Produtividade (eficiência na entrega de valor).

4.4 Resultados

Os resultados parciais de cada etapa e os grupos de métricas estão disponíveis no pacote de replicação (SOUPINSKI, 2025). Os grupos precisam de validação para verificar sua aplicabilidade e utilidade no contexto de engenharia e medição de software. Contudo, o esforço de classificar as 264 métricas em 47 grupos já entrega valor como base para estudos futuros sobre métricas de saúde e morte de ECOS. A Tabela 7 contém o catálogo com "ID", "Metric Name" e "Definition" para as 264 métricas encontradas. Está padronizado em inglês devido à maioria dos trabalhos fonte trazerem o nome e definição das métricas em inglês.

Tabela 7 – Catálogo de Métricas de ECOS.

ID	Metric Name	Definition
M1	Amount of Inquires or Feature Requests	Number of queries or feedback received by the OSS community. Contributions can be corrective, adaptive, perfective, or preventive.
M2	Betweenness Centrality	Reflects the number of shortest paths passing through a specific node.
M3	Bug Tracking Activity	Number of comments created in the project's bug tracker and total number of actions in the bug tracker.
M4	Buildup of Assets	Total factor productivity over time. Can be measured using individual company data.
M5	Centrality	Number of member relations in cliques. Number of individual network relations of a partner. The most central partner is the most persistent.
M6	Cluster of Collaborating Developers	Nodes are developers and edges between them represent projects in which they collaborated. Both make modifications to the project at least a certain number of times.

Continua na próxima página.

Tabela 7 – Continua na próxima página.

ID	Metric Name	Definition
M7	Code Vocabulary Map	Summary of terms used in the project's source code. The vocabulary map is a tool for developers who want to get an overview of the project's domain language.
M8	Community Effort	The combined effort of all members belonging to the community.
M9	Contributor Activity Graph	The distribution of contributors at the ecosystem level.
M10	Contributor Commit Rate	Average between first and last commit.
M11	Date of Last Commit	Date of the last commit of a project/community.
M12	Developer Activity Diagrams	Provides an overview of daily activity of contributors within an ecosystem.
M13	Distribution over the Species	Measure of variety for niche creation factor. The equality of partner division over species.
M14	Ecosystem Cohesion	Number of relations present in a subgroup/maximum possible relation between all nodes in the subgroup.
M15	Ecosystem Connectedness	Number of relations as a proportion of the theoretically maximum number of relations in the entire ecosystem.
M16	Ecosystem Entropy	Measure of disorder that can be seen as similar to measuring the existence of order or disorder among participating software components, software products, or software organizations.
M17	Expertise View Contributor	Visualization of a contributor's expertise based on file extensions (number and type of files changed within a month).
M18	Files Changed	Number of files that were changed.
M19	Files per Version	Number of files per version.
M20	Geographical Distribution	Geographical distribution of community members.
M21	Job Advertisements	Number of job advertisements in the project/community.
M22	Lines Added	Lines added.
M23	Lines Changed	Lines changed.
M24	Lines Removed	Lines removed.
M25	Maximum Number of Commits of a Developer	The size and density of a contributor in a project.
M26	Member Activity Rate	Activity rate where 1 means a single person performs all the work.
M27	Member Effort	The effort of member m in community c.
M28	Network Resources	Measure for productivity delivery innovation factor.
M29	Networks Node Connection	Connections between species or central and non-central partners.
M30	New Members	Count of the number of new members at any point in time.
M31	Number of Active Projects	Number of active projects.
M32	Number of Authors	Number of authors for projects. An author can change files in a project.
M33	Number of Bug Fixers	Number of bug fixers in the community.
M34	Number Committers	Number of committers per project.
M35	Number of Activity Communities	The number of activity communities in which member m is involved.
M36	Number of Commits	Total number of commits containing source code, documentation, and translation.
M37	Number of Community Project	Number of projects built on the platform of a community.
M38	Number of Contributors	Total contributors per project.
M39	Number of Core Developers	Core developer contributes most of the code and oversees the design and evolution of the project.
M40	Number of Developer Releases	Number of releases in which a developer was active in a project.
M41	Number of Developer Projects	Number of projects of a developer.
M42	Number of Downloads	Number of downloads from the community's official portal or mirrors.
M43	Number of Event People	The number of people participating in project events and meetings provides direct information about community activity.
M44	Number of Files	Files during the life of projects.

Continua na próxima página.

Tabela 7 – Continua na próxima página.

ID	Metric Name	Definition
M45	Number of Mailing List Users	Number of users subscribed to the project's discussion list.
M46	Number of Members	The number of active members involved in community c .
M47	Number of Nodes and Edge	Number of nodes and edges.
M48	Number of Passive User	Passive users in the community.
M49	Number of Readers	Number of readers in the community.
M50	Number of Scientific Publications	Number of scientific publications mentioning the community.
M51	Outdegree of Keystone Actors	Defined as someone who has many developers to work with and also plays a major role in the software ecosystem.
M52	Principal Member Activity	The main activity of member m for a given time t . Community c for which m performed the greatest effort.
M53	Project Activity Diagrams	Allows identifying project evolution by comparing six metrics calculating the distribution of contributor involvement.
M54	Project Developer Experience	Total number of releases in which the developer was active.
M55	Reciprocity of the Ecosystem	No definition provided.
M56	Relation between Categorical Event and Developer Participation	Relationship between categorical event and developer participation.
M57	Social Media Hits	Number of hits the project gets on social media.
M58	Solvency	Measure of value creation for niche creation.
M59	Temporal Community Effort	The combined effort of all members belonging to community c during time period t .
M60	Total Effort of Members	Total effort made by a given member m in a set of communities C .
M61	Variety in Products	Offered by the partner depends on alliances with other partners.
M62	Variety of Partners	Covariance with market indicates the variety of different partners a partner has.
M63	Visibility	Tells us something about the centrality of a partner in the market. Partner's popularity.
M64	Web Page Requests	Total requests for the OSS community's web page.
M65	Active Contributors	Number of active developers contributing to the ecosystem measured through commits, patches, and other activities.
M66	Activity on Email Lists	Activity and interactions on the project's email lists.
M67	Added Knowledge about Ecosystem	Indicates that contributors are adding knowledge such as aggregated information from blog posts and manuals.
M68	Artifact Quality	Indicates if the project was built to last through the quality of artifacts produced.
M69	Bug Fix Time	The time required to resolve problems reported in the ecosystem.
M70	Capital Contributors and Donations	Indicators of acceptance by commercial organizations showing that the project is likely not to disappear soon.
M71	Commercial Patronage	Indicates acceptance by commercial organizations demonstrating project sustainability.
M72	Contributions from Non-developers	Contributions coming from members who are not developers of the project.
M73	Contributor Connectedness	Indicates how well connected a developer is in the project.
M74	Contributor Ratings and Reputation	Describes how well the developer is contributing and performing within the ecosystem.
M75	Contributor Satisfaction	Level of satisfaction of contributors with the project.
M76	Core Network Consistence	Indicators of how well connected the parts of the network are.
M77	Download of New Projects	Indicates that new projects still find a welcoming community.
M78	End-user Interest	Level of interest demonstrated by end users in the project.
M79	Events	Events organized around the ecosystem where stakeholders are gathered.

Continua na próxima página.

Tabela 7 – Continua na próxima página.

ID	Metric Name	Definition
M80	Interest: Page Views Search Statistics	Page views, search statistics, and other indicators of interest.
M81	KLOC/time Period Added	Lines of code added or changed over a time period.
M82	Knowledge and Artifact Creation	Creation of knowledge and artifacts by contributors such as manuals, translations, marketing materials, etc.
M83	Mailing List Responsiveness	The liveliness of the discussion list indicating how many people are contributing and using the project.
M84	Market Share	Market share as an indicator of project robustness.
M85	Multiple Markets	Indicates if the project is used in different markets.
M86	Multi-homers	Developers who participate in multiple ecosystems.
M87	New Downloads	Number of new downloads indicating adoption by end users.
M88	New Partnerships	New partnerships established in the ecosystem.
M89	New Patents	Patent activity indicating that the project is becoming more productive.
M90	New Related Projects	Projects that are part of the ecosystem such as the launch of a new plugin.
M91	New Tickets	Number of new tickets opened indicating how problems are reported.
M92	Number of Active Developers	Quantity of developers actively working on the project.
M93	Number of Commits	Total commits containing source code, documentation, and translations.
M94	Organizational Maturity	Indicates that the project is likely well managed.
M95	Partner Equity	Net equity of partners in the ecosystem.
M96	Partner Profit Share	Profit share of ecosystem partners.
M97	Partner Revenue Share	Revenue share of ecosystem partners.
M98	Partnerships and Embeddedness	Partnerships indicate a strong project well embedded in the community.
M99	Project Connectedness/- Cohesion	Connectivity between members and consistency of the core network.
M100	Project Findability	Ability to find projects related to the ecosystem.
M101	Response Times in Bug Trackers	Response times in bug trackers.
M102	Response Times in Forums	Response times in community forums.
M103	Spin Offs and Forks	Number of spin-offs and forks indicating developer interest.
M104	Supported Natural Language	Availability in different languages.
M105	Switching Costs to Alternatives	Costs of switching to other solutions.
M106	Switching Costs to other SECOs	Indicates how difficult it is to switch to another ecosystem.
M107	Total Number of Activity Projects	Number of active projects indicator of strength and power in numbers.
M108	Usage	Use of the project indicating its importance to end users.
M109	User Loyalty and Usage	Indicate how a project can remain robust in the future.
M110	User Satisfaction or Ratings	User satisfaction and ratings.
M111	Variation in Contributor Type	Shows that a project is mature and allows different types of contributors.
M112	Variation in Project Applications	Variety in project applications.
M113	Variety in Projects	Indicates that there are many niches, platforms, domains, etc.
M114	Variety in Development Technologies	Variety in development technologies used.
M115	Variety in Supported Technologies	Variety in technologies supported by the project.
M116	Outbound links to Other SECOs	Indicates how well the ecosystem is connected to other ecosystems.

Continua na próxima página.

Tabela 7 – Continua na próxima página.

ID	Metric Name	Definition
M117	Continuity of Use Experience and Use Cases	Continuity in use experience and use cases.
M118	Delivery of Innovation	Delivery of innovation.
M119	Limited Obsolescence	Limited obsolescence.
M120	Persistence of Structure	Persistence of structure.
M121	Predictability	Predictability.
M122	Productivity Improvement Over Time	Productivity improvement over time.
M123	Survival Rates	Survival rates.
M124	Total Factor Productivity	Total factor productivity.
M125	Value Creation	Value creation.
M126	Variety	Variety in the ecosystem.
M127	Number of Startups and Bankrupt Companies	Number of new companies and bankrupt companies over multiple years.
M128	Z-score	Bankruptcy model to test the credibility and solvency of individual partners based on 5 financial indices.
M129	ZETA Model	Bankruptcy score classification model based on return on assets, earnings stability, debt service, cumulative profitability, liquidity, capitalization, and company size.
M130	Liquidity	Indicates whether a partner is able to meet short-term obligations.
M131	Number of Relations and Agents	Number of relations and number of agents measured per year subject to structural changes.
M132	Connectedness	Number of relations the partner has.
M133	Group Stability	Measure based on the cultural homogeneity of the group considering connectivity and diversity.
M134	Outbound Links	Outbound links from the ecosystem to other ecosystems measured over the years.
M135	Ecosystem Connectedness	Ecosystem connectivity measured by the number of connections.
M136	Cluster Participation	Count of participation in clusters or number of clicks for an individual company.
M137	Centrality	The more central a company is in the ecosystem, the more persistent it is.
M138	Market Share	Market share for each technology measured over multiple consecutive years.
M139	Product Market Share	Market share of products or product groups traded by individual companies.
M140	Technology Education Spending	Total spent on technology-related education within the ecosystem.
M141	Costs of Change and Upgrade	Costs of change and upgrade to keep up with new technologies.
M142	Labor Stability	Measure of labor stability within the ecosystem.
M143	Maintenance Costs	Maintenance costs per product or technology by individual supplier.
M144	Total Factor Productivity	Efficiency of the relationship between quantity of labor and capital employed and value added created.
M145	TFP with ROI	Total factor productivity analysis with return on investment.
M146	TFP Over Time	Total factor productivity over time.
M147	TFP with ROI Over Time	Total factor productivity analysis with ROI over time.
M148	Asset Buildup	Company growth and asset accumulation over time.
M149	Network Effectiveness	Effectiveness of network processes based on relationships between companies.
M150	Number of Patents	Number of patents registered by industry segment related to the total number of relations.
M151	Network Resources	Network resources found in the company's direct network.
M152	Variety Scores	Variety scores comparing Euclidean distances relative to the overall ecosystem average.

Continua na próxima página.

Tabela 7 – Continua na próxima página.

ID	Metric Name	Definition
M153	Market Activity	Measures of number of markets in which the company operates along with domain overlap.
M154	Alliance Network	Alliances with other manufacturers and their relationship to performance.
M155	Partner Variety	Variety of partners based on customer proximity and novelty of knowledge.
M156	Ecosystem Value Creation	Measures of revenue or profit growth caused by newly introduced technologies.
M157	Technology Value	Value of new technologies expressed in added value or company revenue.
M158	Solvency	Growth of equity over debt representing the value the company creates over time.
M159	New Releases per Month	Number of new extension releases per month.
M160	New Developers per Month	Number of new developers joining the ecosystem per month.
M161	New Customers per Month	Number of new customers adopting the platform per month.
M162	Leavers per Month	Number of customers leaving the platform per month.
M163	Distribution of Last Updates	Distribution of the last updates of extensions over the years.
M164	Number of Extensions	Total number of extensions available in the ecosystem.
M165	Market Share	Market share of the platform.
M166	Unique Developers	Number of unique developers in the ecosystem.
M167	Unique Developers by Partner Category	Distribution of developers by partner category.
M168	Certified Extensions	Number of extensions certified by the platform.
M169	Extensions Developed by Partners	Number of extensions developed by partners.
M170	Rated Extensions	Number of extensions that received ratings.
M171	Platform Findability	Ease of finding the platform through searches.
M172	Variety of Categories	Variety of extension categories available.
M173	Average Supported Languages	Average number of languages supported by extensions.
M174	Download Count	Number of downloads of extensions.
M175	Extension Price	Price of extensions.
M176	Popularity Score	Popularity score based on installations and references.
M177	Extension Rating	Rating received by extensions.
M178	Contributors per Extension	Number of developers who contributed to an extension.
M179	Active Developers in Past Year	Sum of all unique repository owners updated in the last year.
M180	Active Developers of Unique Repositories	Sum of all unique owners of non-fork repositories updated in the last year.
M181	Active Developers per Time Segment	Weekly sum of unique repository owners divided by total developers in the year.
M182	Creation Date	Repository creation date.
M183	Multi-platform Repositories	Count of repositories supporting multiple PaaS.
M184	Number of Forks	Sum of all forks made of repositories.
M185	Push Date	Date of last push/update.
M186	Total Number of Followers	Sum of all followers for each repository of the PaaS.
M187	Total Repositories	Total number of repositories containing the PaaS keyword.
M188	Unique Programming Languages	Total number of unique programming languages used for each PaaS.
M189	Unique Repositories	Total number of original (non-fork) repositories.
M190	Update Ratio	Proportion of repositories updated at least once after creation.
M191	Updated Repositories	Number of repositories updated at least once after creation.
M192	Continuity of Use Experience and Use Cases	Consumers of ecosystem products will gradually evolve in response to new technology introduction rather than being radically transformed. Existing capabilities and tools will be leveraged to perform new operations enable.

Continua na próxima página.

Tabela 7 – Continua na próxima página.

ID	Metric Name	Definition
M193	Delivery of Innovation	Does the ecosystem effectively deliver new technologies, processes, or ideas to its members? Does it reduce the employment costs of these novelties compared to direct adoption and propagate access broadly throughout the ecosystem in a way that improves the classic productivity of ecosystem members?
M194	Limited Obsolescence	There is no dramatic abandonment of obsolete capacity in response to a disturbance. Most of the installed base or investment in technology or components finds continuous use after dramatic changes in the ecosystem environment.
M195	Persistence of Structure	Changes in relationships between ecosystem members are contained; generally the ecosystem structure is not affected by external shocks. Most connections between companies or between technologies remain.
M196	Predictability	The change in ecosystem structure is not only contained, it is predictably localized. The location of change in ecosystem structure will be different for different shocks, but a predictable core usually remains unchanged.
M197	Productivity Improvement Over Time	Do ecosystem members and those using their products show increases in productivity measures over time? Are they able to produce the same products or complete the same tasks at progressively lower costs?
M198	Survival Rates	Ecosystem participants enjoy high survival rates either over time or in relation to comparable ecosystems.
M199	Total Factor Productivity	Leveraging techniques used in traditional economic productivity analysis, ecosystems can be compared by the productivity of their participants in converting production factors into useful work.
M200	Value Creation	The overall value of new options created in the ecosystem.
M201	Variety	The number of new options, technological blocks, categories, products, and/or businesses being created within the ecosystem in a given period of time.
M202	Centrality of the Platform	Measure indicating how central and connected the platform is in terms of modules, support, forums, events, documentation, and support availability.
M203	Findability of the Ecosystem	Analysis of visibility and ease of finding the platform and its modules through Google trends and search results.
M204	Growth of the Platform	Growth of the number of modules and unique developers over time.
M205	Identification of the Contributors	Total number of developers and average number of modules per developer.
M206	Level of Contribution per Community User	Measure of the contribution level of each user in the community through the number of topics and posts in forums.
M207	Market Share Analysis	Analysis of platform market share in percentage terms.
M208	Perceived Ecosystem Health	Stakeholders' perception of ecosystem health through survey.
M209	Up-to-dateness of Modules	Percentage of modules that were updated in a given period.
M210	Number of Contributors	Number of code contributors obtained through versioning logs.
M211	Project Code Size	Size of the project code.
M212	Number of Open Problems	Number of open problem reports.
M213	Mailing List	Activity in discussion lists.
M214	Frequency of Contributors	Frequency of individual contributions obtained through versioning logs.
M215	Heterogeneity	Diversity of community composition measured through email and web address analysis to identify affiliations.
M216	Regeneration	Community's capacity for growth and renewal observed through historical analysis of developers' first and last contributions.
M217	Number of Commits per Day	Number of commits made per day in the community.
M218	Files Changed per Day	Total number of files modified per day.
M219	Lines Added per Day	Total number of lines of code added per day.
M220	Lines Removed per Day	Total number of lines of code removed per day.

Continua na próxima página.

Tabela 7 – Continua na próxima página.

ID	Metric Name	Definition
M221	Average Files Changed per Commit	Average number of files modified per commit.
M222	Average Lines Added per Commit	Average number of lines of code added per commit.
M223	Average Lines Removed per Commit	Average number of lines of code removed per commit.
M224	Number of Commits per Month	Number of commits per month in the project's source code repository.
M225	Number of Commits for Top Committers	Number of commits made by top committers (those with the highest number of contributions) over time.
M226	Proportion of Commits per Affiliation Over Time	Proportion of commits by affiliation (company/organization) of contributors over time.
M227	Total Number of Commits and Contribution by Inter-project Committers	Total number of commits and contribution by committers participating in both studied projects.
M228	Number of Messages in Developer- and User Mailing Lists	Number of messages in project developers' and users' mailing lists.
M229	Activity	The percentage of users with at least one antivirus product running actively with current signatures.
M230	Diversity	The diversity of the antivirus ecosystem was characterized based on its richness, degree of concentration and dominance. Richness can be defined as the total number of antivirus providers within the ecosystem.
M231	Stability	The percentage of users by status who have a different antivirus status compared to the previous month.
M232	Communication and Use Intensity	If a project has a healthy community, there are indications of a strong relationship between some measures, such as the number of downloads compared to mailing list posts and active developer interaction in (different) mailing lists.
M233	Open Issues, Service Delays	Bugs and problems are listed in the bug tracking system, but fixes are not made in a timely manner.
M234	Proportions	The proportions of community activity, for example: the volume of posts in the discussion list, bug status changes per time interval, updates in SVN.
M235	Number of Messages in Developer- and User Mailing Lists	The number of messages in developers' and users' mailing lists.
M236	Percentage of Messages Contributed by the Core Developers for the Developer- and User Mailing Lists	Percentage of messages contributed by core developers for the developers' and users' mailing lists.
M237	Percentage of Messages Contributed by Providers for the Developer- and User Mailing Lists	Percentage of messages contributed by providers for the developers' and users' mailing lists.
M238	Number of Contributors	Total contributors per project.
M239	Package Centrality Trend	Refers to the variation in importance and influence of a package within a software ecosystem over time.
M240	StackOverflow Response Rate	The response rate measures the ratio between the number of answered questions and the number of unanswered questions in a specific dataset or context.
M241	Library Usage	The number of times a specific library is used by client projects within the Maven software ecosystem.

Continua na próxima página.

Tabela 7 – Continua na próxima página.

ID	Metric Name	Definition
M242	Library Decay	The decline of the library refers to the decrease in library usage (LU) over time, indicating a decline in popularity or use of a specific library within the Maven software ecosystem.
M243	Contributor Relationship	The relationship between contributors is defined as the total of mutual interactions between two users within a software ecosystem, where an interaction occurs when a user participates in an issue or pull request after another user, establishing a connection between them.
M244	Network Strength	Network strength refers to the overall robustness and connectivity of the social network within a software ecosystem, indicating the level of interactivity and collaboration among contributors.
M245	Community Activity	The level of activity related to open-source software component development in the OSS community.
M246	Issue Resolution	This measure quantifies the effectiveness of problem resolution in a software ecosystem by analyzing the number of issues closed in a specific period.
M247	Truck Factor Developers Detachment	Measures the impact of key developers leaving a software project and the subsequent survival or abandonment of the project.
M248	Consumer Satisfaction	The degree to which customers are satisfied with the products or services provided by the software ecosystem.
M249	Maintenance Activity Level	Metric that quantifies the frequency with which a GitHub project is being maintained, indicating the level of maintenance activity.
M250	Inactive Projects	Projects that have stopped evolving and become inactive or abandoned due to lack of developer activity and/or low user interest.
M251	Maintainability Index	A metric used to evaluate the ease of maintenance and evolution of a software project over time, indicating the quality and sustainability of the project.
M252	Competitiveness	When the ecosystem niche has a market leader, a smaller competitor has lower chances of survival.
M253	Community Fragmentation	An indicator that measures the degree of division or dispersion within a software development community, resulting in lower cohesion and collaboration among members.
M254	Usage Decline	Indicator that measures the reduction in frequency or amount of use of a particular technology, programming language, framework, or software over time.
M255	Usage Decline	Measures the reduction in user base, update frequency, technical support, and active community of a specific software over time.
M256	Digital Independence	Ability of a company or organization to customize, adapt, and evolve its software according to specific and changing business needs, without relying on standardized solutions or expensive technical support.
M257	Security Indicator	Security vulnerabilities caused by lack of security updates in static ecosystems.
M258	Instability Indicator	Libraries can become unstable or incompatible with the rest of the codebase, causing bugs or other problems.
M259	Abandoned Software Reuse	Indicator that measures the ability and success of revitalizing software that was considered obsolete or abandoned, through open-source initiatives and community collaboration.
M260	Developer Community Sustainability	Measures the health and robustness of the developer community contributing to an open-source software project. It evaluates the level of active participation, diversity of contributors, regularity of updates and security patches, and the community's ability to maintain and evolve the software over time.
M261	Long-term Software Sustainability	Capacity of software to remain functional, secure, and relevant over a period of 30 years or more, considering the economic, legal, policy, and technical challenges involved in maintenance.

Continua na próxima página.

Tabela 7 – Continua na próxima página.

ID	Metric Name	Definition
M262	Incompatibility	Inability of software or hardware components to work together due to differences in specifications, interfaces, or communication protocols.
M263	Operational Costs	Expenses of ongoing operation of a software or hardware system. This includes expenses with technical support, regular maintenance, software updates, energy costs, server hosting, staff, among others.
M264	Developer Evasion Rate	Rate of developer turnover in a software team or software ecosystem in a given period of time.

4.5 Conclusão

Com base no trabalho de definição operacional de medidas realizado, foi possível organizar, catalogar, classificar e agrupar métricas de ECOS. Este estudo visou responder a "[QP2]: Quais são as métricas de morte de ECOS?". As métricas não perguntam o estado de saúde de ninguém. Métricas de saúde de ECOS buscam verificar a vitalidade. A morte é a cessação da vitalidade. Logo, o trabalho foi realizado com base nas 26 métricas resultantes do MLR, mais as 238 da revisão *ad-hoc* em saúde de ECOS.

5 Pesquisa de Opinião

5.1 Introdução

A identificação de métricas para monitoramento de ECOS por meio do catálogo de métricas apresentado no Capítulo 4 contribuiu para a compreensão do estado da arte na área. Contudo, a relevância prática dessas métricas em contextos organizacionais reais permanecia uma questão em aberto. Como destacam (KITCHENHAM; PFLEEGER, 2008), a validação empírica através da perspectiva de especialistas constitui etapa crítica para transformar conhecimento teórico em diretrizes acionáveis.

Este capítulo apresenta uma pesquisa de opinião conduzida para responder à questão de pesquisa QP3: *Quais métricas são consideradas prioritárias por especialistas para monitorar ecossistemas de software em diferentes contextos organizacionais?* O estudo foi projetado para capturar não apenas quais métricas os especialistas consideram importantes, mas também como essas prioridades se manifestam em diferentes cenários organizacionais.

A abordagem metodológica utilizou cenários contextualizados que refletem desafios reais enfrentados por organizações que mantêm ECOS. Seguindo as diretrizes de (MOLLÉRI; PETERSEN; MENDES, 2016), o instrumento foi desenvolvido para permitir que os participantes aplicassem seu conhecimento especializado de forma situada, aproximando-se das condições reais de tomada de decisão em gestão de ECOS.

5.2 Desenho Metodológico

5.2.1 Questões de pesquisa

Para responder a QP3 e estabelecer fluxo de discussão para a pesquisa de opinião, foram estabelecidas as seguintes questões de pesquisa específicas:

[QP3.1]: Qual é a hierarquia de priorização das métricas identificadas pelos especialistas para monitoramento de ECOS?

[QP3.2]: Como diferentes contextos organizacionais (crescimento, sustentabilidade, colaboração, governança) influenciam a priorização de métricas pelos especialistas?

[QP3.3]: Qual é a distribuição de prioridades entre as dimensões de métricas (Social, Técnico, Negócios) e indicadores de ECOS (Robustez, Produtividade, Criação de Nicho) segundo a perspectiva dos especialistas?

[QP3.4]: Quais grupos de métricas são considerados mais relevantes por especialistas para monitoramento e tomada de decisão em diferentes cenários de ECOS?

5.2.2 Abordagem Geral

Foi conduzida uma pesquisa exploratória de natureza quantitativa, utilizando questionário estruturado como instrumento principal. O desenho metodológico seguiu as diretrizes estabelecidas por (KITCHENHAM; PFLEEGER, 2008) para pesquisas experimentais em engenharia de software, incorporando elementos que reconhecem a natureza sociotécnica dos ECOS.

A pesquisa adotou uma perspectiva interpretativa, reconhecendo que a avaliação de métricas não ocorre de forma isolada, mas dentro de contextos organizacionais específicos que moldam prioridades e decisões. Esta abordagem alinha-se com a compreensão de que ECOS são sistemas complexos onde fatores técnicos, sociais e econômicos interagem de forma dinâmica (MANIKAS, 2016).

5.2.3 Desenvolvimento de Cenários Contextualizados

O instrumento de pesquisa foi estruturado em torno de 15 cenários organizacionais distintos, cada um representando desafios específicos enfrentados pelos atores envolvidos. O desenvolvimento fundamentou-se metodologicamente na MLR conduzida conforme protocolo de Garousi et al. (2019), que integrou 23 estudos acadêmicos e 19 documentos da literatura cinza. A MLR identificou convergências entre perspectivas acadêmicas e profissionais sobre situações críticas em ECOS, fornecendo base para os contextos organizacionais representados. A estruturação seguiu as diretrizes para pesquisas de opinião em engenharia de software (MOLLÉRI; PETERSEN; MENDES, 2016), reconhecendo que a avaliação de métricas ocorre dentro de contextos organizacionais específicos que moldam prioridades e decisões.

A abordagem narrativa inspirou-se em técnicas estabelecidas de *scenario-based design*, método que facilita a identificação dos participantes com situações reais e melhora a validade ecológica das respostas (KITCHENHAM et al., 2008). A categorização em três tipos (Declínio/Problemas, Crescimento/Mudança, Gestão/Sustentabilidade) reflete momentos distintos na trajetória de ECOS identificados na análise multivocal, abrangendo desde sinais de deterioração até aspectos de governança de longo prazo. Esta estruturação como narrativas contextualizadas incorpora características organizacionais específicas, histórico de desafios e sintomas observados, permitindo a análise contextual das métricas prioritárias e validando a necessidade de abordagens adaptativas para monitoramento. Os cenários foram desenvolvidos com base nos achados da síntese multivocal e cobrem diferentes dimensões organizacionais:

- **Crescimento e Adoção:** Cenários focados em expansão da base de usuários, engajamento de desenvolvedores e atração de novos participantes;
- **Sustentabilidade Técnica:** Situações envolvendo gestão de complexidade, qualidade de código e manutenibilidade de longo prazo;
- **Governança e Economia:** Contextos relacionados à viabilidade financeira, modelos de negócio e estruturas de governança;
- **Colaboração e Coordenação:** Desafios de coordenação entre equipes distribuídas, gestão de contribuições e comunicação;
- **Evolução e Inovação:** Situações de mudança tecnológica, adaptação a novos requisitos e manutenção de relevância.

Cada cenário apresenta uma descrição textual de uma situação organizacional específica, seguida de uma lista de desafios ou objetivos associados. Os participantes eram solicitados a selecionar os grupos de métricas que consideravam prioritários para monitorar e gerenciar cada situação apresentada. O desenvolvimento dos cenários ajudou a mitigar ameaças à validade relacionadas à diversidade em ECOS. Foi levada em consideração a distribuição dos grupos de métricas entre os cenários desenvolvidos. O número de cenários escolhido (15) levou em consideração o viés de não resposta, sendo 15 cenários um número com boa cobertura, ao mesmo tempo que números maiores poderiam exaurir o respondente. Os 15 cenários podem ser visualizados a seguir.

Cenário 1

A Empresa 1 é uma plataforma madura de desenvolvimento low-code que enfrenta desafios significativos em engajamento de desenvolvedores e vitalidade do ecossistema. Após cinco anos no mercado, a equipe de Developer Relations detectou sinais críticos de possível declínio tecnológico e comunitário nos últimos dois trimestres, o que pode ameaçar seu posicionamento e crescimento futuro. Os desafios incluem:

- Diminuição na participação em eventos online;
- Menos contribuições para a documentação;
- Queda no número de novas extensões/plugins;
- Aumento nas reclamações sobre problemas não resolvidos;
- Concorrentes ganhando mais atenção nas redes sociais.

Cenário 2

A Empresa 2 desenvolveu um framework open-source de microsserviços que teve rápida adoção, criando um ecossistema complexo com múltiplas implementações e funcionalidades em expansão. Esse crescimento acelerado levou à fragmentação significativa e desafios de sustentabilidade que podem comprometer a coerência e a confiança dos desenvolvedores no longo prazo. Os desafios incluem:

- Mais de 200 plugins de terceiros;
- Múltiplas versões mantidas simultaneamente;
- Diferentes implementações para várias linguagens de programação;
- Forks significativos com funcionalidades divergentes;
- Usuários confusos sobre qual versão/implementação usar;
- Incompatibilidades entre plugins;
- Sobrecarga da equipe para manter compatibilidade;
- Divergência nas práticas de desenvolvimento entre comunidades.

Cenário 3

A Empresa 3 está reposicionando estrategicamente seu popular Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) de um modelo tradicional de licenciamento perpétuo para um framework moderno de assinatura em nuvem. Essa transformação representa um momento crítico que pode remodelar sua relação com a comunidade de desenvolvedores, trazendo oportunidades e riscos substanciais. Os desafios incluem:

- Grande base de plugins gratuitos e pagos;
- Comunidade ativa de desenvolvedores de extensões;
- Forte presença em ambientes corporativos;
- Integração com diversas ferramentas de terceiros;
- Possível resistência da comunidade à mudança;
- Risco de perder desenvolvedores de plugins;
- Necessidade de manter compatibilidade com integrações existentes;
- Concorrentes podem aproveitar a transição para atrair usuários.

Cenário 4

A Empresa 4 representa um caso notável de crescimento exponencial no espaço de plataformas de API, expandindo de 1.000 para 50.000 desenvolvedores em apenas 18 meses. Esse rápido escalonamento demonstra validação de mercado, mas expôs desafios críticos em manter qualidade, suporte e experiência do desenvolvedor em um ecossistema multilíngue e complexo. Os desafios incluem:

- SDKs para 12 linguagens diferentes;
- Marketplace de integrações;
- Documentação em 4 idiomas;
- Programa de embaixadores técnicos;
- Aumento do tempo de resposta no suporte;
- Documentação desatualizada em alguns idiomas;
- Inconsistências entre diferentes SDKs;
- Dificuldade em manter a qualidade das integrações no marketplace;
- Sobrecarga nos embaixadores técnicos.

Cenário 5

A Empresa 5 gerencia um framework front-end com oito anos de legado, enfrentando a dinâmica complexa da evolução tecnológica e da mudança geracional nas preferências dos desenvolvedores. O desafio é equilibrar a grande base de usuários existente com a necessidade de se manter relevante para novos talentos. Os desafios incluem:

- Novas tecnologias web surgiram com força;
- Desenvolvedores mais jovens preferem alternativas modernas;
- Empresas começaram a migrar para novos frameworks;
- Contribuidores-chave começaram a sair;
- Ainda há uma grande base instalada;
- Muitas empresas dependem do framework;
- Ecossistema robusto de componentes e ferramentas;
- Comunidade antiga ainda ativa.

Cenário 6

A Empresa 6, provedora de banco de dados NoSQL, teve crescimento notável em mercados emergentes, especialmente na Ásia e América Latina. Essa expansão global revelou desafios profundos de adaptação cultural, diversidade linguística e necessidade de abordagem mais inclusiva e regional na comunidade e no produto. Os desafios incluem:

- Predominância do inglês;
- Foco em comunidades norte-americanas e europeias;
- Equipe majoritariamente ocidental;
- Barreiras linguísticas na documentação e suporte;
- Diferentes expectativas culturais de comunidade;
- Fuso horário dificulta eventos e suporte;
- Diferentes padrões de uso por região;
- Necessidade de adaptar materiais educacionais.

Cenário 7

O framework de microsserviços da Empresa 7 enfrenta uma crise crítica de liderança e transferência de conhecimento, marcada pela saída de mantenedores-chave e consequente gargalo de conhecimento. Isso traz riscos à continuidade do projeto, confiança da comunidade e sobrevivência a longo prazo. Os desafios incluem:

- Dois dos principais mantenedores deixaram o projeto;
- Conhecimento sobre partes críticas estava centralizado;
- Documentação técnica desatualizada;
- Novos contribuidores têm dificuldade em assumir responsabilidades;
- Problemas começam a se acumular sem resolução;
- Comunidade expressa preocupação com o futuro do framework.

Cenário 8

O sistema de banco de dados NoSQL da Empresa 8, com uma década de existência, enfrenta o desafio da obsolescência tecnológica. Limitações arquiteturais e dificuldade de adaptação a requisitos modernos geram pressão diante de alternativas mais sofisticadas no mercado. Os desafios incluem:

- Desempenho degradando gradualmente;

- Dificuldade em acompanhar requisitos modernos de segurança;
- Crescente incompatibilidade com novas tecnologias;
- Arquitetura difícil de modificar para novos casos de uso;
- Concorrentes oferecem soluções mais modernas e eficientes;
- Base de usuários começa a migrar para outras soluções.

Cenário 9

O framework de desenvolvimento front-end da Empresa 9 apresenta sintomas alarmantes de desengajamento comunitário e possível estagnação tecnológica. Esses sinais indicam a necessidade de intervenção estratégica para revitalizar o interesse dos desenvolvedores e manter a competitividade. Os desafios incluem:

- Queda na taxa de respostas no Stack Overflow;
- Redução no número de novos contribuidores;
- Diminuição na frequência de commits e pull requests;
- Aumento do tempo médio para resolver problemas;
- Baixa participação em eventos comunitários;
- Diminuição na criação de conteúdo educacional pela comunidade.

Cenário 10

A plataforma de computação em nuvem da Empresa 10 enfrenta uma grave crise de segurança e credibilidade, com múltiplas vulnerabilidades críticas ameaçando sua reputação e a confiança de clientes corporativos. A situação exige resposta estratégica imediata para mitigar danos de longo prazo. Os desafios incluem:

- Descoberta de múltiplas vulnerabilidades críticas;
- Atrasos significativos em atualizações de segurança;
- Perda de certificações de segurança importantes;
- Migração de clientes corporativos para concorrentes;
- Queda na confiança da comunidade após incidentes;
- Dificuldade em manter conformidade com novas regulações.

Cenário 11

A plataforma de desenvolvimento mobile da Empresa 11 enfrenta desafios de governança que minam a confiança da comunidade e comprometem o ecossistema colaborativo. A centralização das decisões gera tensão entre objetivos organizacionais e expectativas comunitárias. Os desafios incluem:

- Decisões unilaterais da organização central geram insatisfação
- Falta de transparência em mudanças de roadmap
- Conflitos entre objetivos comerciais e necessidades da comunidade
- Inconsistência nas políticas de governança
- Atrasos na aprovação de contribuições da comunidade
- Comunicação deficiente sobre descontinuação de funcionalidades
- Aumento de reclamações públicas de desenvolvedores

Cenário 12

A plataforma de desenvolvimento de IA da Empresa 12 enfrenta desafios econômicos crescentes, com dificuldades operacionais e sustentabilidade financeira em queda. É urgente reavaliar a estratégia de monetização e proposta de valor para se manter competitiva em um mercado cada vez mais sensível a custos. Os desafios incluem:

- Crescimento dos custos de infraestrutura e manutenção;
- Dificuldade em monetizar serviços premium;
- Concorrentes oferecem alternativas gratuitas;
- Redução do apoio financeiro de patrocinadores;
- Aumento dos custos de conformidade regulatória;
- Recursos limitados para desenvolvimento;
- Queda no número de clientes corporativos.

Cenário 13

Uma plataforma de desenvolvimento open source está abordando proativamente desafios críticos de sustentabilidade técnica, reconhecendo que gerenciar a complexidade do código e manter altos padrões de qualidade são essenciais para a viabilidade do projeto e engajamento dos desenvolvedores. Os desafios incluem:

- Crescimento exponencial das linhas de código;

- Aumento da complexidade do projeto;
- Necessidade de reduzir dívida técnica;
- Manutenção da qualidade do código;
- Gestão eficiente de bugs e commits.

Cenário 14

Uma startup de tecnologia está enfrentando os desafios multifacetados da colaboração global de equipes, buscando otimizar produtividade, comunicação e uso de recursos entre times distribuídos geograficamente. Os desafios incluem:

- Coordenação entre equipes em diferentes fusos horários;
- Maximização da produtividade colaborativa;
- Geração de valor por meio da colaboração;
- Gestão eficiente de releases;
- Otimização de recursos de rede.

Cenário 15

Um ecossistema de software open source está abordando o desafio de manter relevância tecnológica e adaptabilidade em um cenário digital em rápida evolução, equilibrando inovação com estabilidade da plataforma e continuidade comunitária. Os desafios incluem:

- Manutenção da independência tecnológica;
- Garantia de compatibilidade entre componentes;
- Sustentabilidade de longo prazo;
- Gestão de métricas de nós e interconexão;
- Adaptação a mudanças tecnológicas sem perder identidade.

5.2.4 Instrumento de Coleta

O questionário foi estruturado em três seções principais: **Caracterização Demográfica**: Coleta de informações sobre experiência profissional, formação acadêmica, posição atual e localização geográfica dos participantes. **Avaliação Contextualizada**: Para cada um dos 15 cenários, os participantes selecionavam grupos de métricas dentre os 47 identificados pelo catálogo (Capítulo 4), priorizando aqueles considerados relevantes para o contexto específico. **Considerações Adicionais**: Espaço para comentários e

justificativas sobre as escolhas realizadas, permitindo capturar insights qualitativos sobre os critérios de priorização.

5.2.5 Validação do Instrumento

O questionário passou por um processo de validação em três etapas: **Validação de Conteúdo:** Revisão por dois pesquisadores em ECOS para avaliar a adequação dos cenários, clareza das questões e cobertura dos construtos investigados. **Teste Piloto:** Aplicação preliminar com dois participantes para identificar ambiguidades, estimar tempo de resposta e avaliar carga cognitiva. **Refinamento Iterativo:** Duas rodadas de ajustes baseados no *feedback* dos testes piloto, incluindo simplificação de linguagem e inclusão de exemplos.

5.3 Participantes e Coleta de Dados

Esta seção detalha o perfil dos participantes recrutados para a pesquisa de opinião e os procedimentos metodológicos empregados na coleta de dados. São apresentadas as características demográficas e profissionais dos especialistas, os critérios de seleção utilizados e o protocolo de aplicação do questionário estruturado.

5.3.1 Perfil dos Participantes

A pesquisa contou com 24 pesquisadores e profissionais da indústria que forneceram avaliações distribuídas pelos 15 cenários organizacionais. O perfil dos participantes demonstra diversidade em termos de formação e experiência: **Distribuição Geográfica:** Brasil - 21 (87,5%), Holanda - um (4,2%), Finlândia - um (4,2%), Alemanha - um (4,2%). **Formação Acadêmica:** Graduação - 12 (50%), Mestrado - seis (29,2%), Doutorado - cinco (20,8%). **Experiência Profissional:** Média de 63 meses (5,25 anos), variando de profissionais iniciantes a especialistas com experiência superior a 10 anos. **Cargos Atuais:** Desenvolvedores de software, arquitetos de sistemas, pesquisadores acadêmicos, gerentes de projeto e consultores especializados em ECOS. A composição da amostra reflete uma combinação entre perspectivas acadêmicas e industriais, proporcionando visão sobre as práticas de monitoramento de ECOS em diferentes contextos organizacionais.

5.3.2 Critérios de Elegibilidade e Seleção

Os critérios de inclusão estabelecidos foram: **Experiência Profissional:** Mínimo de 12 meses de experiência em desenvolvimento, gestão ou pesquisa relacionada a ECOS. **Conhecimento Técnico:** Familiaridade com conceitos de ECOS, arquiteturas de plataforma ou gestão de comunidades de desenvolvedores. **Posição Atual:** Profissionais ativos

em desenvolvimento de software, arquitetura de sistemas, gestão de projetos, pesquisa acadêmica ou consultoria em tecnologia. **Consentimento Informado:** Concordância expressa em participar da pesquisa através de termo de consentimento apresentado na primeira página do questionário. Os critérios de exclusão incluíam respostas incompletas e participantes que não atendiam aos requisitos mínimos de experiência profissional. Após a aplicação dos critérios de exclusão, duas respostas incompletas foram removidas.

5.3.3 Processo de Coleta

A coleta de dados foi realizada entre janeiro e junho de 2025 garantindo anonimato. Foi desenvolvida uma plataforma online própria para esta pesquisa ¹, devido ao não enquadramento do formato de avaliação de grupos de métricas por cenários de ECOS (Figura 4). O protocolo de distribuição seguiu estratégia de amostragem por conveniência com *Snowballing* (MOLLÉRI; PETERSEN; MENDES, 2016).

Figura 4 – ECOS Metrics Form

Recrutamento Direto: Convites personalizados enviados a 53 especialistas identificados através de publicações recentes na área de ECOS. **Distribuição em Redes:** Compartilhamento em comunidades profissionais especializadas (LinkedIn, Dev Community) com alcance estimado de 500 profissionais. **Indicações em Cadeia:** Solicitação

¹ <https://github.com/FelipeSoupinski/ecos-metrics-form>

aos participantes para indicação de colegas qualificados, controlando para evitar sobre-representação de grupos específicos. **Lembretes Periódicos:** Dois lembretes enviados com intervalo de duas semanas para mitigar viés de não-resposta.

O processo resultou em 110 acessos ao questionário, dos quais 24 participantes completaram a participação, resultando em taxa de resposta de 22%. Cada participante realizou avaliações nos 15 cenários, resultando em 316 respostas válidas.

5.3.4 Considerações Éticas

A pesquisa foi conduzida seguindo princípios éticos estabelecidos para estudos em engenharia de software: **Consentimento Informado:** Todos os participantes forneceram consentimento explícito após leitura dos objetivos da pesquisa, procedimentos, benefícios e riscos. **Anonimato:** Os dados coletados foram anonimizados, com identificação através de códigos únicos não vinculados a informações pessoais. **Voluntariedade:** Participação inteiramente voluntária, com direito de retirada a qualquer momento sem justificativa. **Confidencialidade:** Dados armazenados em servidor seguro com acesso restrito aos pesquisadores, com compromisso de não compartilhamento de informações individuais.

5.4 Discussão

Esta seção apresenta a discussão dos resultados organizados conforme as questões de pesquisa derivadas da QP3 principal, analisando os padrões identificados na priorização de métricas pelos especialistas e suas implicações para o monitoramento dos sinais vitais de ECOS.

5.4.1 QP3.1: Hierarquia de Priorização das Métricas

A análise das 1973 seleções de grupos de métricas de 316 respostas válidas dos 24 especialistas estabelece uma hierarquia de priorização das métricas para monitoramento dos sinais vitais de ECOS. O grupo Contributors and Active Developers emergiu como métrica prioritária, sendo selecionado em 98 respostas (31,01% do total), demonstrando destaque sobre os fatores determinantes da sustentabilidade de ECOS (EGHBAL, 2020).

A hierarquia completa, apresentada na Tabela 8, revela convergência em torno de métricas sociais como indicadores primários de saúde de ECOS. Long-term Sustainability ocupa a segunda posição com 84 seleções (26,58%), seguida por Community Contribution com 83 seleções (26,27%). Esta sequência evidencia que os especialistas priorizam aspectos relacionais e de sustentabilidade sobre indicadores técnicos ou econômicos. As primeiras cinco posições do ranking concentram métricas predominantemente sociais, com exceção de Market Share and Activity (4^a posição, 77 seleções, Dimensão de Negócios).

Tabela 8 – Hierarquia completa de priorização das métricas pelos especialistas

Pos.	Grupo de Métricas	Dim.	Indicador	Freq.	%
1	Contributors and Active Developers	Social	Robustez	98	31,01%
2	Long-term Sustainability	Social	Robustez	84	26,58%
3	Community Contribution	Social	Produtividade	83	26,27%
4	Market Share and Activity	Negócios	Robustez	77	24,37%
5	Community Communication	Social	Robustez	75	23,73%
6	Developer Retention	Social	Robustez	71	22,47%
7	Update and Maintenance	Técnico	Robustez	69	21,84%
8	Developer Experience	Social	Produtividade	65	20,57%
9	Compatibility	Técnico	Robustez	65	20,57%
10	Developer Collaboration	Social	Produtividade	64	20,25%
11	Satisfaction and Rating	Social	Robustez	63	19,94%
12	Language Support	Técnico	Criação de Nicho	58	18,35%
13	Security and Stability	Técnico	Robustez	54	17,09%
14	Project Lifecycle	Técnico	Robustez	50	15,82%
15	Innovation and Evolution	Negócios	Criação de Nicho	50	15,82%
16	Bug Tracking	Técnico	Produtividade	49	15,51%
17	Number of Commits	Técnico	Produtividade	47	14,87%
18	Value Creation	Negócios	Criação de Nicho	47	14,87%
19	User Base	Social	Robustez	43	13,61%
20	Centrality and Connectedness	Social	Robustez	42	13,29%
21	Ecosystem Structure	Técnico	Robustez	38	12,03%
22	Repository Metrics	Técnico	Produtividade	37	11,71%
23	New Members	Social	Robustez	35	11,08%
24	Community Health	Social	Robustez	34	10,76%
25	Costs	Negócios	Produtividade	34	10,76%
26	Community Activity Rate	Social	Produtividade	34	10,76%
27	Web Presence	Social	Robustez	33	10,44%
28	Stack Overflow Metrics	Social	Robustez	33	10,44%
29	Knowledge Creation	Social	Criação de Nicho	32	10,13%
30	Organizational Metrics	Negócios	Robustez	31	9,81%
31	Total Factor Productivity	Negócios	Produtividade	30	9,49%
32	Downloads and Usage	Negócios	Robustez	30	9,49%
33	Platform Metrics	Negócios	Robustez	29	9,18%
34	Financial Health	Negócios	Robustez	28	8,86%
35	Ecosystem Connections	Social	Criação de Nicho	28	8,86%
36	Event Metrics	Social	Robustez	24	7,59%
37	Network Resources	Social	Criação de Nicho	23	7,28%
38	Release Activity	Técnico	Produtividade	23	7,28%
39	Switching Costs	Negócios	Robustez	23	7,28%
40	Extension Metrics	Técnico	Criação de Nicho	21	6,65%
41	Digital Independence	Negócios	Criação de Nicho	21	6,65%
42	Lines of Code Metrics	Técnico	Produtividade	20	6,33%
43	Code Size	Técnico	Produtividade	20	6,33%
44	Files Changed	Técnico	Produtividade	18	5,70%
45	Node Metrics	Técnico	Robustez	16	5,06%
46	Variety Metrics	Negócios	Criação de Nicho	14	4,43%
47	Activity Visualization	Técnico	Produtividade	10	3,16%

A predominância de métricas sociais manifesta-se na distribuição dimensional das seleções, conforme demonstrado na Tabela 9. A dimensão social concentra 964 seleções (48,86% do total), contrastando com 595 seleções (30,16%) para a dimensão técnica e 414 seleções (20,98%) para a dimensão de negócios. Este padrão alinha-se com a literatura que posiciona aspectos humanos como centrais para a viabilidade de ECOS (MANIKAS, 2016; MASSANORI et al., 2020).

Tabela 9 – Distribuição de seleções por dimensões e indicadores de ECOS

Categoria	Freq.	%
Dimensões		
Social	964	48,86%
Técnico	595	30,16%
Negócios	414	20,98%
Indicadores de ECOS		
Robustez	1145	58,03%
Produtividade	534	27,07%
Criação de Nicho	294	14,90%

A análise por indicadores de ECOS, também apresentada na Tabela 9, confirma a priorização de estabilidade sobre crescimento: métricas classificadas como robustez representam 1.145 seleções (58,03%), superando produtividade com 534 seleções (27,07%) e criação de nicho com 294 seleções (14,90%). Esta distribuição sugere que os especialistas valorizam indicadores de estabilidade e sustentabilidade como fundamento para o sucesso de longo prazo.

O exame do ranking revela estratificação: as 15 primeiras posições concentram 67,4% do total de seleções, indicando consenso em torno de um conjunto *core* de métricas. Métricas técnicas tradicionais como Lines of Code Metrics (42^a posição) e Code Size (43^a posição) ocupam posições inferiores. O consenso observado contrasta com estudos anteriores que sugerem variabilidade contextual na relevância de métricas (FOTROUSI et al., 2014).

A convergência pode refletir uma maturidade crescente do campo, onde a experiência prática consolidou o entendimento sobre fatores críticos para a sustentabilidade de ECOS. Alternativamente, divergindo do paradigma tradicional focado em métricas quantitativas de código, modelo com capacidade restrita para capturar a complexidade real da qualidade no desenvolvimento de software (KITCHENHAM; PFLEEGER, 1996).

A consistência da priorização de Contributors and Active Developers através dos cenários organizacionais sugere que métricas de contribuidores funcionam como indicadores de saúde de ECOS, independentemente de características organizacionais específicas. Este resultado reforça a compreensão de ECOS como sistemas sociotécnicos, onde a dimensão humana determina o sucesso técnico e econômico (DHUNGANA et al., 2010).

A hierarquia estabelecida pode servir de modelo de priorização para estratégias de monitoramento de saúde de ECOS, indicando que abordagens efetivas devem fundamentar-se em métricas sociais como base para a avaliação da sustentabilidade, complementadas por métricas técnicas e de negócios conforme necessidades contextuais específicas. A distribuição observada sugere modelo de monitoramento de saúde em camadas: métricas sociais como *foundation layer*, indicadores técnicos como *operational layer* e métricas de negócios como *strategic layer*.

A hierarquia de priorização estabelecida pelos especialistas fornece resposta para QP3.1, demonstrando convergência em torno de métricas sociais como determinantes primários de saúde de ECOS. O resultado constitui evidência de maturidade conceitual no campo, onde a experiência prática consolidou o entendimento de que aspectos humanos fundamentam a sustentabilidade técnica e econômica.

5.4.2 QP3.2: Influência dos Contextos Organizacionais

Embora as métricas tenham tido disparidade de seleção, a análise revela padrões de especialização contextual distintos. Diferentes tipos de desafios organizacionais geram demandas específicas por categorias particulares de métricas, demonstrando que contextos organizacionais moldam prioridades de monitoramento de forma previsível.

Contextos de crescimento demonstram priorização de métricas de variedade (9,58%) e centralidade (9,43%), refletindo preocupação com a expansão e diversificação do ECOS. Esta especialização indica que organizações focadas em crescimento necessitam monitorar a capacidade de atração de novos participantes e a integração de componentes diversos (RIETVELD; PLOOG; NIEBORG, 2020).

Contextos de sustentabilidade enfatizam métricas técnicas, particularmente Lines of Code (7,20%) e Bug Tracking (5,27%). Esta priorização evidencia foco na manutenção da qualidade e gestão da complexidade crescente, alinhando-se com estudos que destacam a importância da qualidade técnica para longevidade de ECOS (COELHO et al., 2020).

Contextos de colaboração priorizam métricas relacionais, incluindo Community Health (3,50%) e Event Metrics (3,29%). Esta especialização reflete a importância da coordenação e comunicação em ambientes distribuídos, corroborando pesquisas sobre desafios de gestão em ECOS (WHITEHEAD, 2007).

Contextos de governança demonstram balanceamento entre métricas sociais e de negócios, indicando necessidade de equilibrar aspectos relacionais com viabilidade econômica. Esta distribuição sugere que decisões de governança requerem perspectiva multi-dimensional que integre sustentabilidade social e econômica (ALVES; OLIVEIRA; JANSEN, 2017).

O contexto observado indica que estratégias de monitoramento devem combinar

métricas sociais com métricas técnicas e de negócios específicas, alinhadas aos desafios organizacionais primários. Esta abordagem híbrida permite capturar tanto aspectos fundamentais quanto necessidades contextuais específicas.

A análise contextual responde QP3.2 evidenciando que contextos organizacionais exercem influência sistemática nas prioridades de monitoramento, configurando padrões de especialização previsíveis. Cenários de crescimento priorizam métricas de expansão, cenários de sustentabilidade priorizam indicadores técnicos, cenários de colaboração valorizam métricas relacionais, enquanto cenários de governança demandam balanceamento multidimensional. Estes achados indicam que estratégias de monitoramento devem usar métricas sociais como fundamentais e complementar com métricas específicas alinhadas aos desafios organizacionais primários, suportando abordagem híbrida que integra aspectos consensuais e necessidades contextuais para a otimização do monitoramento da saúde.

5.4.3 QP3.3: Distribuição por Dimensões e Indicadores

A análise da distribuição de prioridades revela padrões claros na valorização de diferentes dimensões e indicadores funcionais. A predominância de métricas classificadas como robustez (52,26% das seleções) sobre produtividade (29,50%) e criação de nicho (12,77%) indica que especialistas priorizam estabilidade e sustentabilidade sobre eficiência operacional ou capacidade de inovação.

Esta distribuição sugere maturidade crescente do campo, onde preocupações com longevidade superam considerações de crescimento acelerado. O foco na robustez pode refletir experiências práticas com falhas de ECOS, levando à valorização de indicadores de estabilidade como fundamento para sucesso de longo prazo (EVERTSE et al., 2021; SOUPINSKI et al., 2022).

A menor priorização de métricas de criação de nicho (12,77%) pode indicar que especialistas consideram inovação como consequência natural de ECOS robustos e produtivos, ao invés de objetivo primário independente. Esta perspectiva alinha-se com estudos que demonstram que a capacidade de inovação emerge de fundações sólidas em aspectos sociais e técnicos (TANG et al., 2024).

A distribuição dimensional revela equilíbrio entre métricas sociais (61,38%), técnicas (21,69%) e de negócios (11,45%), com clara predominância dos aspectos sociais. Esta distribuição reforça a compreensão de ECOS como sistemas fundamentalmente sociais, onde aspectos técnicos e econômicos dependem da vitalidade da comunidade (HYRYN-SALMI et al., 2015).

O padrão observado sugere que frameworks de monitoramento devem estruturar-se hierarquicamente, priorizando métricas sociais como fundamento, complementadas por métricas técnicas para sustentabilidade operacional e métricas de negócios para viabili-

dade econômica.

A distribuição de prioridades entre dimensões e indicadores responde QP3.3 revelando predominância de métricas sociais (48,86%) e classificadas como robustez (58,03%), demonstrando que especialistas valorizam estabilidade sobre eficiência operacional ou capacidade de inovação. Esta configuração evidencia maturidade crescente do campo, onde preocupações com longevidade superam considerações de crescimento acelerado, refletindo experiências práticas com falhas de ECOS. A menor priorização de métricas de criação de nicho (14,90%) sugere entendimento de que a capacidade de inovação emerge naturalmente de fundações sólidas em aspectos sociais e técnicos, estabelecendo hierarquia conceitual onde robustez constitui prerequisite para produtividade e inovação sustentáveis.

5.4.4 QP3.4: Análise por Cenário

5.4.4.1 Plataforma low-code madura em declínio de engajamento

O primeiro cenário refere-se a uma plataforma low-code consolidada que apresenta sinais de declínio tecnológico e comunitário, como redução de participação em eventos, diminuição de contribuições e menor visibilidade no mercado. As respostas indicam predominância na seleção dos grupos **Community Communication**, **Community Contribution**, **Contributors and Active Developers**, **Extension Metrics** e **Satisfaction and Rating**. Tais grupos evidenciam a relevância do monitoramento da vitalidade comunitária, do engajamento, da produção de extensões e da satisfação dos desenvolvedores. A recorrência de métricas de comunicação e contribuição sugere a necessidade de acompanhamento sistemático da participação ativa e da responsividade da comunidade, elementos fundamentais para antecipação e mitigação de riscos de estagnação e perda de relevância.

5.4.4.2 Fragmentação em ecossistema de microserviços open source

O segundo cenário simula um ecossistema de microserviços em rápida expansão, caracterizado por fragmentação, múltiplas versões e desafios de sustentabilidade. As respostas evidenciam a seleção dos grupos **Variety Metrics**, **Extension Metrics**, **Compatibility**, **Project Lifecycle** e **Centrality and Connectedness**. A ênfase em métricas de variedade e compatibilidade indica a necessidade de monitorar a coerência do ecossistema e a interoperabilidade entre implementações e plugins. Métricas de ciclo de vida e centralidade são consideradas relevantes para identificar pontos de fragmentação, acompanhar a evolução e subsidiar intervenções que promovam sustentabilidade e confiança dos desenvolvedores.

5.4.4.3 Transição de modelo de licenciamento em IDE consolidado

O terceiro cenário aborda a transição de um IDE tradicional para um modelo de assinatura em nuvem, com potenciais riscos de resistência comunitária e evasão de desenvolvedores de plugins. Os grupos mais selecionados foram **Extension Metrics, Community Communication, Contributors and Active Developers, Compatibility** e **Market Share and Activity**. Os resultados sugerem prioridade no monitoramento da produção e manutenção de extensões, aliado à comunicação transparente durante mudanças estratégicas. Métricas de participação e compatibilidade são vistas como essenciais para mitigar riscos de evasão e assegurar a continuidade do ecossistema de plugins.

5.4.4.4 Crescimento exponencial em plataforma de APIs

O quarto cenário explora desafios de qualidade, suporte e experiência do desenvolvedor em uma plataforma de APIs em rápida expansão. As respostas indicam preferência pelos grupos **Community Communication, Developer Experience, Knowledge Creation, Extension Metrics** e **Project Lifecycle**. A seleção dessas métricas evidencia a importância do acompanhamento da qualidade, atualização da documentação, suporte eficiente e experiência do usuário em ambientes multilíngues e distribuídos. O monitoramento contínuo desses aspectos é considerado relevante para sustentar o crescimento e evitar degradação da experiência no ecossistema.

5.4.4.5 Evolução tecnológica e mudança geracional em framework front-end

O quinto cenário aborda a necessidade de equilibrar uma base instalada robusta com a atração de novos desenvolvedores em um framework front-end legado. Os grupos mais recorrentes foram **Project Lifecycle, Developer Retention, Community Contribution, Extension Metrics** e **Market Share and Activity**. Os resultados apontam para a relevância de métricas que permitam acompanhar a retenção de desenvolvedores, a vitalidade do ecossistema de extensões e a evolução do ciclo de vida do projeto. O monitoramento dessas dimensões é considerado estratégico para subsidiar ações de revitalização e adaptação tecnológica.

5.4.4.6 Expansão global e desafios culturais em banco NoSQL

O sexto cenário trata da expansão global de um provedor de banco de dados NoSQL, com desafios de adaptação cultural e diversidade linguística. As respostas evidenciam a seleção dos grupos **Language Support, Community Communication, Knowledge Creation, User Base** e **Developer Experience**. A ênfase em suporte a idiomas e comunicação comunitária indica a necessidade de monitorar barreiras linguísticas e promover inclusão regional. Métricas de criação de conhecimento e experiência do

desenvolvedor são consideradas essenciais para adaptar materiais educacionais e garantir engajamento em diferentes contextos culturais.

5.4.4.7 Crise de liderança e transferência de conhecimento em microserviços

O sétimo cenário refere-se à saída de mantenedores-chave e ao risco de concentração de conhecimento em um framework de microserviços. Os grupos mais selecionados foram **Knowledge Creation, Developer Retention, Community Health, Project Lifecycle** e **Community Communication**. Os resultados sugerem a importância do monitoramento da documentação técnica, da retenção de conhecimento e da saúde da comunidade. O acompanhamento dessas métricas é considerado fundamental para mitigar riscos de descontinuidade, facilitar a integração de novos colaboradores e preservar a confiança da comunidade.

5.4.4.8 Obsolescência tecnológica em banco NoSQL legado

O oitavo cenário explora a obsolescência tecnológica de um banco NoSQL legado, pressionado por limitações arquiteturais e concorrência. As respostas destacam os grupos **Project Lifecycle, Code Size, Security and Stability, Community Contribution** e **Market Share and Activity**. A seleção dessas métricas indica a necessidade de monitorar a evolução do ciclo de vida, o tamanho e a complexidade do código, além de aspectos de segurança e participação comunitária. O acompanhamento dessas dimensões é considerado estratégico para identificar sinais de estagnação e subsidiar esforços de modernização.

5.4.4.9 Estagnação e desengajamento em framework front-end

O nono cenário aborda sintomas de estagnação e desengajamento em um framework de desenvolvimento front-end. Os grupos mais recorrentes foram **Community Health, Developer Retention, Community Communication, Number of Commits** e **Knowledge Creation**. Os resultados evidenciam a importância de métricas que permitam acompanhar a vitalidade da comunidade, a retenção de colaboradores e a produção de conhecimento. O monitoramento dessas dimensões é considerado essencial para identificar rapidamente sinais de declínio e subsidiar estratégias de revitalização.

5.4.4.10 Crise de segurança e credibilidade em plataforma de cloud

O décimo cenário refere-se a uma crise de segurança em uma plataforma de computação em nuvem, com impacto direto na reputação e confiança do mercado. As respostas indicam preferência pelos grupos **Security and Stability, Community Communication, Project Lifecycle, Market Share and Activity** e **Developer Experience**. A ênfase em métricas de segurança e estabilidade indica a necessidade de resposta rápida a

vulnerabilidades e manutenção da confiança dos clientes. Métricas de comunicação e experiência do desenvolvedor são consideradas complementares para garantir transparência e engajamento durante a gestão da crise.

5.4.4.11 Desafios de governança em plataforma de desenvolvimento mobile

O décimo primeiro cenário aborda desafios de governança e erosão de confiança em uma plataforma de desenvolvimento mobile, marcados por decisões centralizadas e conflitos entre objetivos organizacionais e comunitários. As respostas evidenciam a seleção dos grupos **Community Communication**, **Community Health**, **Governance Metrics**, **Developer Retention** e **Project Lifecycle**. A ênfase em métricas de comunicação e saúde comunitária indica a necessidade de monitorar a transparência, a participação e a estabilidade do ecossistema. Métricas de governança e retenção são consideradas essenciais para acompanhar o equilíbrio entre interesses institucionais e comunitários, bem como a sustentabilidade colaborativa.

5.4.4.12 Sustentabilidade financeira em plataforma de IA

O décimo segundo cenário trata de desafios econômicos e sustentabilidade financeira em uma plataforma de desenvolvimento de IA. Os grupos mais selecionados foram **Financial Health**, **Market Share and Activity**, **Community Contribution**, **Project Lifecycle** e **Value Creation**. Os resultados sugerem a relevância do monitoramento da viabilidade econômica, da participação de mercado e da geração de valor. O acompanhamento dessas métricas é considerado fundamental para subsidiar decisões estratégicas, ajustar modelos de monetização e garantir a continuidade do desenvolvimento diante de restrições orçamentárias.

5.4.4.13 Sustentabilidade técnica em plataforma open source

O décimo terceiro cenário explora a gestão da complexidade técnica e a manutenção de padrões de qualidade em uma plataforma open source. As respostas destacam os grupos **Lines of Code Metrics**, **Bug Tracking**, **Knowledge Creation**, **Project Lifecycle** e **Community Contribution**. A seleção dessas métricas indica a necessidade de monitorar o crescimento do código, a eficiência na resolução de bugs e a produção de conhecimento. O acompanhamento dessas dimensões é considerado estratégico para garantir a sustentabilidade técnica e o engajamento de desenvolvedores no longo prazo.

5.4.4.14 Colaboração global em startup de tecnologia

O décimo quarto cenário aborda desafios de colaboração, produtividade e comunicação em equipes distribuídas globalmente. Os grupos mais recorrentes foram **Network**

Resources, Community Communication, Developer Collaboration, Event Metrics e **Project Lifecycle**. Os resultados evidenciam a importância de métricas que permitam acompanhar a utilização de recursos de rede, a eficiência colaborativa e a participação em eventos. O monitoramento dessas dimensões é considerado essencial para otimizar processos, promover integração e maximizar a produtividade em ambientes distribuídos.

5.4.4.15 Relevância tecnológica e adaptabilidade em ecossistema open source

O décimo quinto cenário refere-se ao desafio de manter a relevância tecnológica e a adaptabilidade em um ecossistema open source em rápida evolução. As respostas indicam preferência pelos grupos **Innovation and Evolution, Compatibility, Long-term Sustainability, Extension Metrics** e **Ecosystem Structure**. A ênfase em inovação, sustentabilidade e compatibilidade indica a necessidade de equilibrar estabilidade e adaptação contínua. Métricas de estrutura e extensões são consideradas complementares para monitorar a coesão do ecossistema e a capacidade de resposta a mudanças tecnológicas.

5.4.4.16 Conclusão

A análise dos diferentes cenários organizacionais demonstra que a seleção dos grupos de métricas mais relevantes pelos especialistas é determinada pelas características contextuais de cada situação. Observa-se que métricas sociais, especialmente aquelas relacionadas à comunicação, contribuição e retenção de desenvolvedores, são recorrentemente priorizadas, refletindo a centralidade dos fatores humanos na sustentabilidade dos ECOS. Entretanto, a escolha dos grupos de métricas varia conforme os desafios apresentados, com maior ênfase em indicadores técnicos em contextos de sustentabilidade e em métricas econômicas em situações de governança e viabilidade financeira. Esses resultados respondem à questão de pesquisa QP3.4 ao evidenciar que a priorização de grupos de métricas para monitoramento e tomada de decisão em ECOS é orientada por uma base comum de indicadores sociais, complementada por métricas técnicas e de negócios selecionadas de acordo com as demandas específicas de cada cenário. Tal configuração reforça a necessidade de abordagens adaptativas e fundamentadas na análise contextual para a gestão eficaz de ECOS.

5.4.5 Implicações Teóricas e Práticas

Os resultados desta pesquisa, fundamentados na análise de 316 respostas de 24 especialistas distribuídas em 15 cenários organizacionais, oferecem implicações para múltiplos *stakeholders* da engenharia de software.

5.4.5.1 Implicações para Profissionais de Engenharia de Software

A predominância de métricas sociais (48,86% das seleções) e a priorização de “Contributors and Active Developers” (31,01% das seleções) fornecem diretrizes práticas para profissionais responsáveis pelo monitoramento de ECOS. Os dados indicam que sistemas de monitoramento efetivos devem:

- **Priorizar métricas sociais:** A hierarquia estabelecida demonstra que métricas relacionadas a contribuidores devem constituir o núcleo de qualquer sistema de monitoramento, superando indicadores técnicos tradicionais como Lines of Code (6,33%) ou métricas de arquivos (5,70%);
- **Implementar abordagem contextual adaptativa:** A especialização observada entre contextos organizacionais (crescimento priorizando variedade 9,58%, sustentabilidade enfatizando Lines of Code 7,20%, colaboração valorizando Community Health 3,50%) indica que profissionais devem adaptar estratégias de monitoramento às necessidades organizacionais específicas, mantendo métricas da base comum;
- **Equilibrar dimensões de monitoramento:** A distribuição dimensional (Social 48,86%, Técnico 30,16%, Negócios 20,98%) sugere que frameworks de monitoramento devem estruturar-se hierarquicamente, priorizando aspectos sociais como fundamento, complementados por indicadores técnicos para sustentabilidade operacional e métricas de negócios para viabilidade econômica.

5.4.5.2 Implicações para a Comunidade Científica de Engenharia de Software

A convergência observada em torno de métricas sociais fortalece teoricamente a conceituação de ECOS como sistemas sociotécnicos, onde aspectos humanos determinam resultados técnicos e econômicos. Os achados sugerem direções para pesquisas futuras:

- **Validação de limiares críticos:** A identificação de métricas prioritárias estabelece agenda de pesquisa para determinação de pontos de referência quantitativos específicos. A taxa de resposta de 0,8 no Stack Overflow, identificada na revisão multivocal como limiar crítico, exemplifica a necessidade de validação de valores-limite para as métricas prioritárias identificadas;
- **Investigação longitudinal:** A especialização contextual observada demanda estudos longitudinais que acompanhem ecossistemas reais ao longo do tempo, verificando a eficácia preditiva das métricas propostas e validando os padrões de priorização identificados pelos especialistas;
- **Desenvolvimento de modelos preditivos:** A predominância de métricas classificadas como robustez (58,03%) sobre produtividade (27,07%) e criação de nicho

(14,90%) indica oportunidade para desenvolvimento de modelos que integrem estas dimensões em frameworks preditivos de sustentabilidade de ECOS.

5.4.5.3 Implicações para a Educação em Engenharia de Software

Os resultados têm implicações práticas pedagógicas em engenharia de software:

- **Ênfase em aspectos sociotécnicos:** A predominância de métricas sociais (61,38% considerando a distribuição por dimensões) indica necessidade de ênfase curricular em aspectos humanos e comunitários no desenvolvimento de software, contrastando com abordagens tradicionais focadas primariamente em aspectos técnicos;
- **Desenvolvimento de competências em gestão de comunidades:** A priorização de métricas relacionadas a contribuidores e sustentabilidade de longo prazo sugere que programas educacionais devem incorporar competências em *Developer Relations*, gestão de comunidades e sustentabilidade de projetos como componentes da formação em engenharia de software;
- **Abordagem contextual para métricas:** A especialização contextual demonstra que estudantes devem aprender a adaptar estratégias de monitoramento a cenários organizacionais, desenvolvendo capacidade de seleção e aplicação contextualizada de métricas, ao invés de aplicação mecânica de conjuntos fixos de indicadores;
- **Integração teoria-prática:** A convergência entre literatura acadêmica e perspectivas de especialistas, documentada na revisão multivocal, reforça a importância de abordagens pedagógicas que integrem fundamentação teórica com experiência prática, preparando profissionais para aplicar conhecimento científico em contextos organizacionais reais.

Estas implicações, fundamentadas nos padrões observados, contribuem para o desenvolvimento de práticas mais efetivas de monitoramento de ECOS, avanço do conhecimento científico na área e formação de profissionais melhor preparados para os desafios da engenharia de software contemporânea.

5.5 Limitações e Validade

5.5.1 Ameaças à Validade

Seguindo as diretrizes de (KITCHENHAM; PFLEEGER, 2008), são identificadas e discutidas as principais ameaças à validade do estudo:

Validade de Conteúdo: Mitigada através do desenvolvimento iterativo do instrumento com validação por especialistas e testes piloto. O alinhamento entre construtos

teóricos e questões práticas foi assegurado pela fundamentação na síntese multivocal. **Validade Externa:** O tamanho da amostra (24 participantes) e a concentração geográfica (87,5% no Brasil) limitam a generalização dos resultados. Contudo, a diversidade de formação e experiência dos participantes mitiga parcialmente esta limitação. **Validade de Face:** Assegurada através dos testes piloto que confirmaram que o instrumento era compreensível e relevante para o público-alvo, com ajustes realizados para melhorar a compreensão. **Validade Interna:** Risco de má interpretação das perspectivas dos participantes foi mitigado através de questões claras e específicas, com opção de esclarecimentos adicionais no campo de comentários. **Confiabilidade:** Garantida através do processo estruturado de análise, documentação detalhada dos procedimentos e disponibilização dos dados para verificação e reprodução dos resultados. **Viés de Seleção:** A estratégia de amostragem por conveniência pode introduzir viés, mitigado pela diversificação dos canais de recrutamento e pelo controle de indicações em cadeia. **Viés de Não-resposta:** A taxa de resposta de 22% pode indicar viés, mitigado pelos lembretes periódicos e pela análise das características demográficas dos respondentes. **Fadiga:** O tempo para interpretar e escolher cada métrica poderia aumentar a carga cognitiva e a fadiga do respondente, podendo levar a escolhas inadequadas. Para mitigar isso, a seleção foi realizada por grupo de métricas.

5.5.2 Validade dos Resultados

Apesar das limitações, várias características do estudo sustentam a validade dos achados: **Validade de Face:** O teste piloto e as validações iterativas asseguraram que o instrumento fosse compreensível e relevante para os participantes. **Validade Interna:** A consistência dos padrões observados através dos diferentes cenários sugere robustez dos achados centrais. **Validade de Construto:** A convergência com achados da literatura sobre a importância dos aspectos sociais em ECOS fortalece a validade teórica dos resultados. **Confiabilidade:** A documentação detalhada do processo analítico e a disponibilização dos dados permitem reprodução e verificação dos resultados.

5.6 Conclusões

A pesquisa de opinião conduzida com 24 especialistas fornece resposta empírica para a questão QP3, revelando padrões claros na priorização de métricas para monitoramento de ECOS em diferentes contextos organizacionais. O achado central é o consenso em torno das métricas sociais, particularmente aquelas relacionadas a contribuidores e desenvolvedores ativos, que emergiram como prioritárias independentemente do contexto organizacional. Este resultado reforça a compreensão de ECOS como sistemas sociotécnicos, onde os aspectos humanos constituem determinantes críticos de sucesso.

Simultaneamente, a pesquisa identificou padrões de especialização contextual, onde diferentes tipos de desafios organizacionais geram demandas específicas por categorias de métricas. Esta especialização sugere que estratégias efetivas de monitoramento devem combinar métricas relevantes com indicadores específicos para o contexto organizacional.

A predominância de métricas classificadas como a robustez indica que os especialistas priorizam estabilidade e sustentabilidade sobre eficiência operacional ou capacidade de inovação, possivelmente refletindo maturidade crescente do campo e reconhecimento de que ECOS robustos constituem fundamento para produtividade e inovação sustentáveis.

Estes achados contribuem para o desenvolvimento de frameworks empíricamente fundamentados para monitoramento de ecossistemas de software, oferecendo diretrizes práticas para organizações que buscam implementar sistemas de monitoramento efetivos e contextualmente apropriados.

6 Conclusão

6.1 Considerações Iniciais

Esta dissertação investigou o fenômeno da morte de ecossistemas de software através de abordagem multimetodológica, visando estabelecer pontos de referência para monitoramento de sinais vitais. A pesquisa foi conduzida em duas fases distintas: concepção, que envolveu mapeamento de literatura multivocal e catalogação de métricas; e avaliação, que compreendeu validação empírica através de pesquisa de opinião com especialistas.

O objetivo geral de analisar as fases da morte de ecossistemas de software para estabelecer pontos de referência foi alcançado através da integração sistemática de perspectivas acadêmicas e práticas industriais, resultando em um catálogo de métricas empiricamente validado.

6.2 Contribuições

6.2.1 Contribuições Teóricas

O mapeamento de literatura multivocal revelou cinco categorias principais de causas da morte de ecossistemas de software: envelhecimento e obsolescência tecnológica, fatores sociais e comunitários, decisões organizacionais e falhas de governança, competição e pressões de mercado, e insustentabilidade financeira. A análise identificou quatro fases distintas no processo de morte: envelhecimento inicial, declínio manifesto, fase mórbida/crítica, fase terminal e pós-morte.

A síntese multivocal estabeleceu convergências entre literatura acadêmica e cinza, confirmando a validade dos achados através de múltiplas fontes de evidência. A perspectiva acadêmica forneceu fundamentação teórica, enquanto a literatura cinza contribuiu com relevância contextual e aplicabilidade imediata.

A estratégia de pesquisa de triangulação resultou na identificação e catalogação de 47 grupos de métricas associadas ao monitoramento de ecossistemas de software, organizados em dimensões técnica, social e de negócios, e classificados por indicadores de robustez, produtividade e criação de nicho.

Complementando a definição de Soussi (2018) sobre morte de ECOS, esta pesquisa agrega: A morte de um ECOS é a extinção permanente do ECOS devido a uma perturbação na dinâmica entre os atores, anúncio oficial de descontinuação pela organização central, ou por inatividade.

6.2.2 Contribuições Práticas

A pesquisa de opinião com 24 especialistas validou empiricamente as métricas identificadas, estabelecendo hierarquia de priorização. Os resultados demonstraram consenso em torno das métricas sociais, particularmente aquelas relacionadas a contribuidores e desenvolvedores ativos (28,79% das seleções), confirmando a centralidade dos aspectos humanos na sustentabilidade de ecossistemas de software.

A análise contextual revelou padrões de especialização, onde diferentes tipos de desafios organizacionais geram demandas específicas por categorias de métricas. Esta especialização indica que estratégias efetivas de monitoramento devem utilizar métricas específicas para o contexto organizacional.

A classificação hierárquica identificou quatro níveis de priorização: Capital Humano (31,0%), Sustentabilidade (26,6%), Competitividade (24,4%) e Fundação Técnica (20,6%). A predominância de métricas classificadas em robustez (52,26% das seleções) sugere que especialistas priorizam estabilidade e sustentabilidade sobre eficiência operacional.

O estudo fornece diretrizes práticas para organizações: métricas de contribuidores e desenvolvedores ativos devem constituir o núcleo de qualquer sistema de monitoramento; sistemas devem ser complementados com métricas específicas alinhadas aos desafios organizacionais; estratégias devem priorizar indicadores de estabilidade; e a preponderância das métricas sociais reforça a necessidade de investimento em aspectos relacionais e comunitários.

6.2.3 Contribuições Metodológicas

A pesquisa demonstrou a eficácia da abordagem multivocal para investigação de fenômenos emergentes em engenharia de software, onde práticas industriais frequentemente precedem teorização acadêmica. O protocolo de triangulação metodológica utilizado pode ser aplicado em estudos futuros que busquem integrar conhecimento acadêmico com experiência prática.

A estratégia de validação por meio de cenários contextualizados mostrou-se efetiva para capturar prioridades específicas de especialistas em diferentes situações organizacionais, proporcionando insights que não seriam obtidos através de abordagens genéricas.

6.3 Limitações

A pesquisa apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. O tamanho da amostra da pesquisa de opinião (24 participantes) e a concentração geográfica (87,5% no Brasil) limitam a generalização dos achados. A estratégia

de amostragem por conveniência pode introduzir viés de seleção, embora mitigado pela diversificação dos canais de recrutamento.

A taxa de resposta de 22% no questionário pode indicar viés de não-resposta, requerendo cautela na extrapolação dos resultados. A validação das métricas baseou-se em percepções de especialistas, sendo necessários estudos empíricos adicionais para confirmação da eficácia prática dos indicadores propostos.

O mapeamento de literatura, embora abrangente, pode não ter capturado toda literatura relevante, especialmente publicações recentes ou em nichos específicos. A síntese multivocal, por sua natureza interpretativa, está sujeita a viés dos pesquisadores na categorização e análise dos achados.

6.4 Trabalhos Futuros

Os resultados desta dissertação estabelecem fundação para programa de pesquisa de longo prazo em morte, saúde e sustentabilidade de ecossistemas de software. Estudos futuros podem expandir a validação das métricas através de investigações longitudinais, acompanhando ecossistemas reais ao longo do tempo para estabelecer pontos de referência quantitativos e verificar a correlação das métricas prioritárias com eventos de declínio.

A replicação da pesquisa de opinião em diferentes contextos geográficos e culturais pode fortalecer a generalização dos achados e identificar variações contextuais nas prioridades de monitoramento. Estudos comparativos entre diferentes domínios de aplicação (móvel, web, empresarial) podem revelar especificidades setoriais.

O desenvolvimento de ferramentas automatizadas para coleta e análise das métricas identificadas constitui direção promissora para aplicação prática dos resultados. A criação de dashboards de monitoramento baseados no catálogo de métricas proposto pode facilitar a adoção das diretrizes por organizações.

Investigações sobre pontos de referência quantitativos específicos para cada métrica, incluindo limiares críticos e valores de alerta, podem complementar o catálogo de métricas estabelecido. Estudos sobre a relação temporal entre diferentes métricas e eventos de declínio podem aprimorar a capacidade preditiva do modelo.

A extensão da pesquisa para incluir aspectos de recuperação e revitalização de ecossistemas em declínio pode fornecer insights sobre estratégias de intervenção. Colaborações interdisciplinares com áreas como economia, sociologia e ecologia podem enriquecer a compreensão teórica do fenômeno.

6.5 Considerações Finais

Esta dissertação contribui para o avanço do conhecimento sobre morte de ECOS. Os achados demonstram que a morte constitui fenômeno complexo que requer monitoramento multidimensional, combinando aspectos técnicos, sociais e econômicos.

A validação empírica das métricas através da perspectiva de especialistas estabelece base sólida para desenvolvimento de ferramentas e práticas de monitoramento. O catálogo de métricas proposto oferece orientação prática para organizações, enquanto a compreensão das fases de declínio permite intervenções oportunas.

Os resultados reforçam a natureza sociotécnica dos ECOS, onde aspectos humanos emergem como determinantes críticos de sustentabilidade. Esta compreensão tem implicações importantes para práticas de gestão e governança de ecossistemas.

A pesquisa estabelece fundação para investigações futuras e desenvolvimento de soluções práticas, contribuindo para a maturidade do campo de estudo de ECOS. A integração de perspectivas acadêmicas e industriais demonstra o valor da abordagem multivocal para investigação de fenômenos complexos em engenharia de software.

7 Pacote de replicação

O Pacote de replicação pode ser acessado no github "FelipeSoupinski/masters-replication-package"(SOUPINSKI, 2025). Link direto ¹.

¹ <https://github.com/FelipeSoupinski/masters-replication-package>

Referências

- ALVES, C.; OLIVEIRA, J. A. P. de; JANSEN, S. Software ecosystems governance-a systematic literature review and research agenda. *ICEIS (3)*, p. 215–226, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 76.
- AMORIM, S. da S. et al. How has the health of software ecosystems been evaluated? a systematic review. In: *Proceedings of the XXXI Brazilian Symposium on Software Engineering*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 14–23. Citado 3 vezes nas páginas 25, 27 e 50.
- AMORIM, S. da S. et al. How has the health of software ecosystems been evaluated? a systematic review. In: *Proceedings of the XXXI Brazilian Symposium on Software Engineering*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 14–23. Citado na página 28.
- ANA, T. D. S. et al. The structure of an innovation ecosystem: foundations for future research. *Management Decision*, Emerald Publishing Limited, v. 58, n. 12, p. 2725–2742, 2020. Citado na página 9.
- ARANTES, P.; SOUPINSKI, F.; FONTÃO, A. Social networks during software ecosystems' death. In: IEEE. *2023 IEEE/ACM 11th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and Software Ecosystems (SESoS)*. [S.l.], 2023. p. 9–12. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 47.
- AXELSSON, J.; SKOGLUND, M. Quality assurance in software ecosystems: A systematic literature mapping and research agenda. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 114, p. 69–81, 2016. Citado na página 25.
- BALTES, S.; RALPH, P. Teaching literature reviewing for software engineering research. In: *Handbook on Teaching Empirical Software Engineering*. [S.l.]: Springer, 2024. p. 529–555. Citado na página 50.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. [S.l.]: Artmed editora, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 21.
- Better Evaluation. *Triangulation*. 2024. <https://www.betterevaluation.org/methods-approaches/methods/triangulation>. Citado na página 49.
- BRERETON, P. et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of systems and software*, Elsevier, v. 80, n. 4, p. 571–583, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 27, 28 e 29.
- CALDIERA, V. R. B. G.; ROMBACH, H. D. The goal question metric approach. *Encyclopedia of software engineering*, p. 528–532, 1994. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 26.
- COELHO, J. et al. Is this github project maintained? measuring the level of maintenance activity of open-source projects. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 122, p. 106274, 2020. Citado 5 vezes nas páginas 21, 26, 28, 38 e 76.

- COELHO, J. et al. Identifying unmaintained projects in github. In: *Proceedings of the 12th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–10. Citado 4 vezes nas páginas 10, 26, 46 e 47.
- CUNHA, A. E. D. S. Um modelo baseado em habilidades para formação de profissionais de devrel. Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 38.
- DHUNGANA, D. et al. Software ecosystems vs. natural ecosystems: learning from the ingenious mind of nature. In: *Proceedings of the Fourth European Conference on Software Architecture: Companion Volume*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 96–102. Citado 3 vezes nas páginas 10, 21 e 75.
- EGHBAL, N. *Working in public: the making and maintenance of open source software*. [S.l.]: Stripe Press, 2020. Citado na página 73.
- EVERTSE, R. et al. Is your software ecosystem in danger? preventing ecosystem death through lessons in ecosystem health. In: SPRINGER. *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming—Workshops: XP 2021 Workshops, Virtual Event, June 14–18, 2021, Revised Selected Papers 22*. [S.l.], 2021. p. 96–105. Citado 4 vezes nas páginas 26, 27, 47 e 77.
- FONTÃO, A. et al. Supporting governance of mobile application developers from mining and analyzing technical questions in stack overflow. *Journal of Software Engineering Research and Development*, Springer, v. 6, p. 1–34, 2018. Citado na página 9.
- FONTÃO, A. et al. On value creation in developer relations (devrel) a practitioners' perspective. In: *Proceedings of the 15th international conference on global software engineering*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 33–42. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 19.
- FONTÃO, A. et al. A developer relations (devrel) model to govern developers in software ecosystems. *Journal of Software: Evolution and Process*, Wiley Online Library, v. 35, n. 5, p. e2389, 2023. Citado na página 27.
- FONTAO, A. de L.; SANTOS, R. P. dos; DIAS-NETO, A. C. Mobile software ecosystem (mseco): a systematic mapping study. In: IEEE. *2015 IEEE 39th Annual Computer Software and Applications Conference*. [S.l.], 2015. v. 2, p. 653–658. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 25.
- FOTROUSI, F. et al. Kpis for software ecosystems: A systematic mapping study. In: SPRINGER. *International Conference of Software Business*. [S.l.], 2014. p. 194–211. Citado 4 vezes nas páginas 25, 27, 48 e 75.
- FRANCO-BEDOYA, O. et al. Open source software ecosystems: A systematic mapping. *Information and software technology*, Elsevier, v. 91, p. 160–185, 2017. Citado na página 25.
- GARCÍA-HOLGADO, A.; GARCÍA-PEÑALVO, F. J. Mapping the systematic literature studies about software ecosystems. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 910–918. Citado na página 25.

- GAROUSI, V.; FELDERER, M.; MÄNTYLÄ, M. V. Guidelines for including grey literature and conducting multivocal literature reviews in software engineering. *Information and software technology*, Elsevier, v. 106, p. 101–121, 2019. Citado 6 vezes nas páginas 12, 13, 25, 29, 38 e 46.
- GERMAN, D. M.; ADAMS, B.; HASSAN, A. E. The evolution of the r software ecosystem. In: IEEE. *2013 17th European Conference on Software Maintenance and Reengineering*. [S.l.], 2013. p. 243–252. Citado na página 16.
- HANDOYO, E.; JANSEN, S.; BRINKKEMPER, S. Software ecosystem modeling: the value chains. In: *Proceedings of the fifth international conference on management of emergent digital ecosystems*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 17–24. Citado na página 9.
- HOU, F.; JANSEN, S. A systematic literature review on trust in the software ecosystem. *Empirical Software Engineering*, Springer, v. 28, n. 1, p. 8, 2023. Citado na página 25.
- HYRYNSALMI, S.; MÄNTYMÄKI, M. Is ecosystem health a useful metaphor? towards a research agenda for ecosystem health research. In: SPRINGER. *Challenges and Opportunities in the Digital Era: 17th IFIP WG 6.11 Conference on e-Business, e-Services, and e-Society, I3E 2018, Kuwait City, Kuwait, October 30–November 1, 2018, Proceedings 17*. [S.l.], 2018. p. 141–149. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 27.
- HYRYNSALMI, S. et al. Wealthy, healthy and/or happy—what does ‘ecosystem health’ stand for? In: SPRINGER. *Software Business: 6th International Conference, ICSOB 2015, Braga, Portugal, June 10-12, 2015, Proceedings 6*. [S.l.], 2015. p. 272–287. Citado 4 vezes nas páginas 9, 27, 48 e 77.
- ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering—Measurement process. *ISO/IEC/IEEE 15939:2017(E)*, p. 1–49, 2017. Citado na página 50.
- JANSEN, S.; CUSUMANO, M. A.; BRINKKEMPER, S. *Software ecosystems: analyzing and managing business networks in the software industry*. [S.l.]: Edward Elgar Publishing, 2013. Citado na página 18.
- KAMEI, F. et al. Grey literature in software engineering: A critical review. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 138, p. 106609, 2021. Citado na página 38.
- KEELE, S. et al. *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. [S.l.]: Technical report, ver. 2.3 ebse technical report. ebse, 2007. Citado 5 vezes nas páginas 28, 29, 31, 41 e 50.
- KITCHENHAM, B. et al. Evaluating guidelines for reporting empirical software engineering studies. *Empirical Software Engineering*, Springer, v. 13, p. 97–121, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 27, 29 e 63.
- KITCHENHAM, B. et al. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, v. 33, n. 2004, p. 1–26, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- KITCHENHAM, B.; PFLEEGER, S. L. Software quality: the elusive target [special issues section]. *IEEE software*, Ieee, v. 13, n. 1, p. 12–21, 1996. Citado na página 75.
- KITCHENHAM, B. A.; PFLEEGER, S. L. Personal opinion surveys. In: *Guide to advanced empirical software engineering*. [S.l.]: Springer, 2008. p. 63–92. Citado 4 vezes nas páginas 12, 62, 63 e 84.

- KITCHENHAM, B. A. et al. Preliminary guidelines for empirical research in software engineering. *IEEE Transactions on software engineering*, IEEE, v. 28, n. 8, p. 721–734, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 29.
- KUDRIAVTSEVA, A.; GADYATSKAYA, O. You cannot improve what you do not measure: A triangulation study of software security metrics. In: *Proceedings of the 39th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*. [S.l.: s.n.], 2024. p. 1223–1232. Citado na página 49.
- LAPLANTE, P. A.; KASSAB, M. *What every engineer should know about software engineering*. [S.l.]: CRC Press, 2022. Citado na página 22.
- LEWIS, M. W. Iterative triangulation: a theory development process using existing case studies. *Journal of Operations Management*, Elsevier, v. 16, n. 4, p. 455–469, 1998. Citado na página 12.
- LINÅKER, J.; PAPATHEOCHAROUS, E.; OLSSON, T. How to characterize the health of an open source software project? a snowball literature review of an emerging practice. In: *Proceedings of the 18th International Symposium on Open Collaboration*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 1–12. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 27.
- LOCKWOOD, C.; CONROY-HILLER, T.; PAGE, T. Vital signs. *JBIS Evidence Synthesis*, LWW, v. 2, n. 6, p. 1–38, 2004. Citado na página 10.
- MANIKAS, K. Revisiting software ecosystems research: A longitudinal literature study. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 117, p. 84–103, 2016. Citado 5 vezes nas páginas 9, 16, 25, 63 e 75.
- MANIKAS, K.; HANSEN, K. M. Software ecosystems—a systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 86, n. 5, p. 1294–1306, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 50 e 52.
- MASSANORI, D. et al. Death of a software ecosystem: a developer relations (devrel) perspective. In: *Proceedings of the XXXIV Brazilian symposium on software engineering*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 399–404. Citado 5 vezes nas páginas 9, 10, 21, 26 e 75.
- MILLER, C.; KÄSTNER, C.; VASILESCU, B. “we feel like we’re winging it:” a study on navigating open-source dependency abandonment. In: *Proceedings of the 31st ACM Joint European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*. [S.l.: s.n.], 2023. p. 1281–1293. Citado na página 27.
- MILLER, J. Triangulation as a basis for knowledge discovery in software engineering. *Empirical Software Engineering*, Springer, v. 13, p. 223–228, 2008. Citado na página 49.
- MOLLÉRI, J. S.; PETERSEN, K.; MENDES, E. Survey guidelines in software engineering: An annotated review. In: *Proceedings of the 10th ACM/IEEE international symposium on empirical software engineering and measurement*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6. Citado 4 vezes nas páginas 13, 62, 63 e 72.
- MOORE, J. F. The death of competition: leadership and strategy in the age of business ecosystems. (*No Title*), 1996. Citado na página 9.

- MUJAHID, S. et al. Toward using package centrality trend to identify packages in decline. *IEEE Transactions on Engineering Management*, IEEE, v. 69, n. 6, p. 3618–3632, 2021. Citado 3 vezes nas páginas 26, 46 e 47.
- PARNAS, D. L. Software aging. In: IEEE. *Proceedings of 16th International Conference on Software Engineering*. [S.l.], 1994. p. 279–287. Citado na página 46.
- PATTON, M. Q. Enhancing the quality and credibility of qualitative analysis. *Health services research*, v. 34, n. 5 Pt 2, p. 1189, 1999. Citado na página 49.
- RIETVELD, J.; PLOOG, J. N.; NIEBORG, D. B. Coevolution of platform dominance and governance strategies: Effects on complementor performance outcomes. *Academy of Management Discoveries*, Academy of Management Briarcliff Manor, NY, v. 6, n. 3, p. 488–513, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 76.
- SEPPÄNEN, M. et al. Yet another ecosystem literature review: 10+ 1 research communities. *2017 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)*, IEEE, p. 1–8, 2017. Citado na página 25.
- SOUPINSKI, F. *Replication Package*. [S.l.]: GitHub, 2025. <https://github.com/FelipeSoupinski/masters-replication-package.git>. Citado 2 vezes nas páginas 52 e 91.
- SOUPINSKI, F. et al. ” we are dying!” on death signals of software ecosystems. In: *Proceedings of the XXXVI Brazilian Symposium on Software Engineering*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 363–369. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 77.
- SOUSSI, L. *Health vulnerabilities in software ecosystems: five cases of dying platforms*. Dissertação (Mestrado), 2018. Citado 3 vezes nas páginas 10, 26 e 46.
- SRINIVASAN, K.; DEVI, T. Software metrics validation methodologies in software engineering. *International Journal of Software Engineering & Applications*, Academy & Industry Research Collaboration Center (AIRCC), v. 5, n. 6, p. 87, 2014. Citado na página 49.
- STEGLICH, C. et al. Revisiting the mobile software ecosystems literature. In: IEEE. *2019 IEEE/ACM 7th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems (SESoS) and 13th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems (WDES)*. [S.l.], 2019. p. 50–57. Citado na página 10.
- TANG, F. et al. Platform collaboration patterns, network structure, and innovation performance: An nk simulation approach. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 242, p. 122684, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 77.
- THENGVALL, M. *The Business Value of Developer Relations: How and Why Technical Communities Are Key To Your Success*. [S.l.]: Apress, 2018. Citado na página 19.
- VADLAMANI, S. L.; BAYSAL, O. Studying software developer expertise and contributions in stack overflow and github. In: IEEE. *2020 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)*. [S.l.], 2020. p. 312–323. Citado na página 9.

- WHITEHEAD, J. Collaboration in software engineering: A roadmap. In: IEEE. *Future of Software Engineering (FOSE'07)*. [S.l.], 2007. p. 214–225. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 76.
- WOHLIN, C. et al. Successful combination of database search and snowballing for identification of primary studies in systematic literature studies. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 147, p. 106908, 2022. Citado na página 31.
- WOHLIN, C. et al. Guidelines for the search strategy to update systematic literature reviews in software engineering. *Information and software technology*, Elsevier, v. 127, p. 106366, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- WOHLIN, C.; RUNESON, P. Guiding the selection of research methodology in industry–academia collaboration in software engineering. *Information and software technology*, Elsevier, v. 140, p. 106678, 2021. Citado na página 11.
- WU, Y. et al. Exploring the ecosystem of software developers on github and other platforms. In: *Proceedings of the companion publication of the 17th ACM conference on Computer supported cooperative work & social computing*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 265–268. Citado na página 9.
- ZHANG, H.; BABAR, M. A.; TELL, P. Identifying relevant studies in software engineering. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 53, n. 6, p. 625–637, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.