

# Análise Estrutural da Saúde de Ecossistemas de Software e suas Implicações para Sistemas Colaborativos: Um Estudo de Caso Baseado em SSN do ECOS SOLAR

André Luís C. da Silva<sup>1</sup>, Francisco Victor da S. Pinheiro<sup>1,2</sup>  
Emanuel F. Coutinho<sup>1,3</sup>, Rhenara Alves<sup>2</sup>, Rossana M. C. Andrade<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus Quixadá – Quixadá – CE

<sup>2</sup>Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência da Computação (MDCC)  
Universidade Federal do Ceará (UFC) – Fortaleza – CE

<sup>3</sup>Programa de Pós-graduação em Computação (PCOMP)  
Universidade Federal do Ceará (UFC) – Quixadá – CE

{andreluis90, rhenaraalves21}@alu.ufc.br

{victorpinheiro, emanuel.coutinho, rossana}@ufc.br

**Resumo.** *Ecossistemas de Software (ECOS) constituem ambientes complexos, formados por múltiplos atores, dependências técnicas e relações organizacionais em contínua evolução. Apesar de sua importância para o desenvolvimento e a sustentabilidade de soluções de software, a literatura ainda apresenta limitações quanto ao uso sistemático de modelos estruturais capazes de apoiar a avaliação de atributos como saúde, qualidade e sustentabilidade desses ecossistemas. Neste trabalho, investiga-se a saúde do ECOS SOLAR a partir de uma perspectiva estrutural, por meio de uma abordagem de avaliação baseada em modelos de Software Supply Network (SSN), que integra modelagem estrutural e indicadores quantitativos e qualitativos. A abordagem é aplicada em um estudo de caso longitudinal, analisando diferentes versões do ECOS SOLAR. Os resultados evidenciam padrões relevantes de evolução estrutural, como processos de consolidação e centralização, bem como seus impactos diretos sobre indicadores de diversidade, robustez e sustentabilidade do ecossistema. Os achados demonstram que modelos baseados em SSN constituem instrumentos analíticos eficazes para apoiar a avaliação sistemática da saúde e da qualidade de ecossistemas de software.*

**Abstract.** *Software Ecosystems (SECO) are complex environments composed of multiple actors, technical dependencies, and organizational relationships that evolve continuously over time. Despite their relevance to the development and sustainability of software solutions, the literature still presents limitations regarding the systematic use of structural models to support the assessment of attributes such as ecosystem health, quality, and sustainability. This paper investigates the health of the SOLAR SECO from a structural perspective through an evaluation approach based on Software Supply Network (SSN) models, integrating structural modeling with quantitative and qualitative indicators. The approach is applied in a longitudinal case study, analyzing different versions*

*of the SOLAR SECO. The results reveal relevant patterns of structural evolution, including consolidation and centralization processes, as well as their direct impacts on indicators of diversity, robustness, and ecosystem sustainability. The findings demonstrate that SSN-based models constitute effective analytical instruments to support the systematic assessment of the health and quality of software ecosystems.*

## **1. Introdução**

No cenário atual, de acordo com Jansen (2020), as indústrias perceberam que não trabalham de forma individual para a excelência de um produto, mas sim que fazem parte de um complexo ecossistema juntamente a outras empresas. Segundo Pinheiro e Coutinho (2024), Ecossistemas de Software (ECOS) são atores e componentes que trabalham com o objetivo comum de fornecer produtos ou serviços de software.

Embora o estudo de ECOS tenha avançado, Pinheiro et al. (2024) destacam que ainda existem lacunas significativas, sobretudo no que diz respeito à saúde e qualidade dos ecossistemas. A literatura disponível é limitada e a maioria dos trabalhos aponta esses temas como direções futuras de pesquisa, o que dificulta o desenvolvimento de análises sistemáticas e fundamentadas.

Além de ambientes técnicos, ecossistemas de software podem ser compreendidos como redes sociotécnicas nas quais a colaboração entre organizações e comunidades é mediada por plataformas, dependências e fluxos de software. Assim, mudanças estruturais nesses ecossistemas impactam diretamente coordenação, autonomia, governança e sustentabilidade colaborativa [Manikas 2016].

Coutinho et al. (2017) destacam que a medição da saúde de ECOS apresenta desafios contínuos, sobretudo porque suas características evoluem ao longo do tempo, alterando diretamente seu estado de saúde e qualidade. Manikas e Hansen (2013) destacam que na literatura ainda existem poucos estudos dedicados à avaliação desses aspectos, e o campo de garantia de qualidade em ECOS permanece pouco explorado.

O trabalho de Jansen et al. (2007) define um método para modelagem de ECOS, a Rede de Suprimento de Software - *Software Supply Network* (SSN) - considerando o fluxo presente, seus participantes e o tipo de produto trocado. Boucharas et al. (2009) destacam vantagens dos modelos SSN ao mostrar o fluxo de informação e software entre atores, permitindo melhor visualização do modelo de negócios e de suas dependências.

O problema central deste trabalho consiste na ausência de métodos e ferramentas capazes de avaliar de forma sistemática a saúde e a qualidade de Ecossistemas de Software. A escassez de abordagens específicas na literatura limita a condução de análises estruturadas e dificulta o monitoramento desses ambientes. Assim, este estudo investiga a aplicação de uma abordagem baseada em modelos SSN para avaliar tais atributos de maneira objetiva.

O restante deste trabalho está dividido nas seguintes seções: a Seção 2 apresenta um breve referencial teórico; na Seção 3 alguns trabalhos relacionados são descritos; a Seção 4 descreve uma maneira de analisar a saúde e qualidade de ECOS; na seção 5 um estudo de caso é apresentado; a Seção 6 traz uma relação da pesquisa com Sistemas Colaborativos; e por fim, a Seção 7 apresenta as considerações finais da pesquisa.

## 2. Referencial Teórico

Esta seção apresenta os principais fundamentos conceituais que sustentam a pesquisa, abordando os conceitos de Ecossistemas de Software (ECOS), a notação *Software Supply Network* (SSN) e os atributos relacionados à saúde, qualidade e sustentabilidade desses ambientes. Inicialmente, são discutidas as características estruturais e organizacionais dos ECOS, destacando sua natureza sociotécnica e colaborativa. Em seguida, apresenta-se a notação SSN como mecanismo de modelagem capaz de representar atores, dependências e fluxos entre organizações. Por fim, são explorados os conceitos de saúde, qualidade e sustentabilidade em ecossistemas de software, estabelecendo a base teórica necessária para a análise estrutural proposta neste trabalho.

### 2.1. Ecossistemas de Software

De acordo com Bosch (2009) os Ecossistemas de Software (ECOSs) podem surgir como a evolução das linhas de produtos de software, com a expansão dos limites organizacionais para a inclusão de parceiros externos. Essa transição é impulsionada pela necessidade de inovação, personalização em massa e complexidade crescente do desenvolvimento de software no mercado.

Segundo Jansen et al. (2007), os ecossistemas de software podem ser definidos como uma rede de atores que funcionam como uma unidade em um mercado compartilhado de software e serviços. Bosch (2009) afirma que ECOS são o conjunto de soluções de software que permitem as atividades realizadas pelos atores no ecossistema social e comercial, assim como as organizações que os fornecem.

Souza et al. (2018) definem ECOS como sendo composto de várias organizações e indivíduos com diferentes funções e interesses, com o objetivo de garantir a eficiência do ecossistema, sua capacidade de enfrentar e resistir às interrupções, e principalmente de criar uma diversidade significativa. Johnson et al. (2020) destacam que ECOS promovem uma facilitação na criação de produtos e mercados, diminuem barreiras para que novos produtores de software entrem, e a colaboração entre *keystones* e desenvolvedores externos permite adaptação às oportunidades.

### 2.2. *Software Supply Network* - SSN

Jansen et al. (2007) definem SSN como redes de organizações interconectadas que colaboram para fornecer produtos e serviços de software. Essas redes diferem das cadeias de suprimentos tradicionais por lidarem com software, que requer manutenção contínua mesmo após a entrega. Boucharas et al. (2009) destacam que os modelos SSN permitem visualizar fluxos de informação, software e produtos entre atores, facilitando a identificação de dependências e relações comerciais. Pinheiro e Coutinho (2024) afirma que a notação SSN é amplamente utilizada por sua capacidade de representar relações comerciais de forma clara e compreensível, sendo composta por atores, relações comerciais, fluxos e *gateways* como representado pela Figura 1.

A Figura 2 apresenta um breve exemplo de modelagem de ECOS utilizando a notação SSN, exibindo as relações dos fornecedores e intermediários com a empresa de interesse, além do cliente.


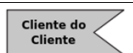





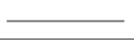
|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
|  | Empresa de Interesse: Distribui o produto no modelo comercial definido para o ambiente. Pode ser o produto em si. |  | Cliente do Cliente: Um cliente pode ter seus próprios clientes com um produto ou serviço direto ou indiretamente da empresa de interesse. Ex: suporte ao produto, atualizações, etc. |
|  | Fornecedor: Fornece um ou mais produtos ou serviços necessários.  |  | Agregador: Empresas, produtos ou serviços que operam entre dois agentes para agregar valor a um produto ou serviço. Também pode distribuí-lo ou revendê-lo.                          |
|  | Cliente: Elemento que direta ou indiretamente, adquire ou utiliza o produto.                                      |  | Relacionamento Comercial: Representa um artefato ou fluxo de serviço de um ator para outro. Pode ser um dado, um software, dinheiro, serviços, etc.                                  |
|  | Intermediário: Atores que atuam como intermediários entre dois elementos. Ex: distribuidores, revendedores, etc.  |  | Fluxo: Conecta dois atores. Um relacionamento pode ser complexo, constituindo muitos fluxos de direções arbitrárias.   |

Figura 1. Componentes da notação SSN

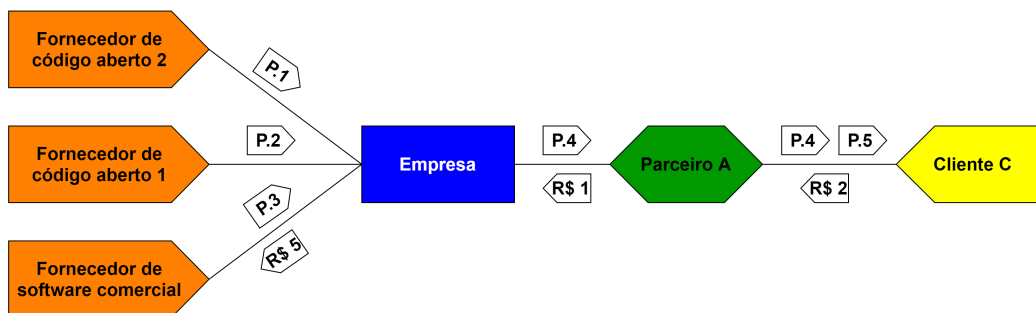


Figura 2. Modelo genérico de ECOS na notação SSN [Boucharas et al. 2009].

### 2.3. Saúde, Qualidade e Sustentabilidade em Ecossistemas

Souza et al. (2018) destacam que a saúde do ECOS depende da capacidade de enfrentar mudanças e rupturas, promovendo equilíbrio entre inovação, confiabilidade e eficiência. A qualidade é medida com base em normas como a ISO/IEC 25010. [Coutinho et al. 2017] ressaltam que a saúde de ECOS apresenta desafios contínuos devido à evolução constante desses ambientes. Manikas e Hansen (2013) afirmam que ainda existem poucos estudos dedicados à avaliação da saúde e qualidade em ECOS.

Carvalho et al. (2017) definem a saúde de um ecossistema como sua capacidade de estabilidade e expansão ao longo do tempo, considerando indicadores como sustentabilidade, diversidade, produtividade, robustez e criação de nicho. Santos et al. (2014) afirmam que a qualidade em ECOS não se limita apenas aos processos e produtos, mas também abrange a saúde e prosperidade do ecossistema, refletindo sua capacidade de oferecer oportunidades e manter a sustentabilidade e diversidade.

## 3. Trabalhos Relacionados

Foram encontrados e analisados alguns trabalhos relevantes da literatura que abordam a modelagem, análise de evolução, saúde e qualidade de ecossistemas de software, destacando suas contribuições e limitações em relação ao tema deste estudo.

Pinheiro e Coutinho (2024) apresentam um estudo que utiliza a notação SSN para analisar a evolução de ECOS através da modelagem. A abordagem é implementada por meio da ferramenta *ECOS Modeling*, que permite a representação gráfica e estatística dos componentes e relacionamentos dentro do ecossistema. A modelagem realizada permite observar alterações nos atores e conexões ao longo do tempo, gerando análises por meio de métricas quantitativas e qualitativas. O trabalho propõe também uma análise sistemática baseada em dados históricos, apresentando resultados em relatórios e gráficos

que facilitam a identificação de tendências e mudanças. Os autores destacam que a evolução de um ECOS ocorre por meio do crescimento dos relacionamentos internos e externos entre seus atores, assim como pela expansão de interações com outros ecossistemas.

Silva et al. (2021) realizam um estudo preliminar sobre a saúde de ecossistemas de software, analisando fatores como robustez, produtividade e capacidade de adaptação. O estudo contribui para este trabalho fornecendo uma análise detalhada dos fatores que definem a saúde de um ecossistema de software, como robustez e produtividade. Os resultados demonstram que a saúde do ECOS SOLAR é sustentada pela sua resiliência tecnológica, capacidade de inovação e criação de oportunidades. A adaptação do ecossistema a mudanças, como a substituição de tecnologias, reforça sua robustez, enquanto a inclusão de novas funcionalidades aumenta sua atratividade.

Schueller e Wachs (2024) apresentam uma abordagem para modelar riscos interconectados em ecossistemas de software de código aberto, integrando fatores sociais e técnicos. O estudo utiliza o ecossistema *Rust* como caso de análise, demonstrando como falhas técnicas e a saída de desenvolvedores-chave podem desencadear cascatas de falhas em redes de dependências. O estudo revelou que a saída de desenvolvedores-chave pode levar a cascatas de falhas que impactam bibliotecas críticas, destacando a importância de uma alocação eficiente de recursos para mitigar esses riscos. A abordagem enfatiza a importância de identificar componentes críticos e propor intervenções estratégicas para garantir a resiliência de ecossistemas de software.

Evertse et al. (2021) investigam fatores que levaram ao colapso de quatro ecossistemas de software: *BlackBerry OS*, *Windows Phone*, *Symbian* e *Palm OS*. O estudo identifica como a subestimação de concorrentes, falta de inovação e gestão inadequada contribuíram para a decadência desses ecossistemas. Os autores propõem contramedidas para prevenir falhas semelhantes, incluindo a melhoria da qualidade de APIs e documentação, estratégias voltadas para desenvolvedores e adaptação às necessidades do mercado. Os resultados mostram que os problemas enfrentados pelos ECOS analisados não são isolados, mas parte de ciclos viciosos que combinam falta de inovação, má gestão de parcerias e perda de relevância no mercado.

A Tabela 1 apresenta uma disposição de aspectos identificados entre os trabalhos apresentados neste capítulo. Os critérios de avaliação incluem análise prática, saúde e qualidade, estudo de caso, metodologia ou ferramenta e abordagem. É possível notar que os trabalhos analisados contribuem de forma relevante para a compreensão de aspectos específicos dos ecossistemas de software, como evolução, riscos, robustez ou colapso porém, tendem a tratar esses temas de maneira isolada.

**Tabela 1. Comparação entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto.**

| Trabalho                   | Análise Prática | Estudo de Caso | Saúde/Qualidade | Metodologia/Ferramenta | Abordagem |
|----------------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------|
| Pinheiro e Coutinho (2024) | Sim             | Sim            | Não             | Sim                    | Sim       |
| Silva et al. (2021)        | Sim             | Sim            | Sim             | Não                    | Não       |
| Schueller e Wachs (2024)   | Sim             | Não            | Sim             | Não                    | Não       |
| Evertse et al. (2021)      | Sim             | Sim            | Não             | Não                    | Sim       |
| <b>Este Estudo</b>         | Sim             | Sim            | Sim             | Sim                    | Sim       |

Este trabalho se difere por reunir esses elementos em uma única abordagem, apoi-

ada por modelos SSN, métricas de saúde e qualidade, estudos de caso e uma ferramenta dedicada para automação da análise, permitindo uma avaliação mais completa e estruturada do ecossistema.

#### 4. Abordagem para Análise da Saúde e Qualidade de ECOS

Conforme está representado na Figura 3, o processo da abordagem é estruturado em uma sequência de etapas que guiam a análise da saúde e da qualidade dos ecossistemas de software a partir de modelos SSN.

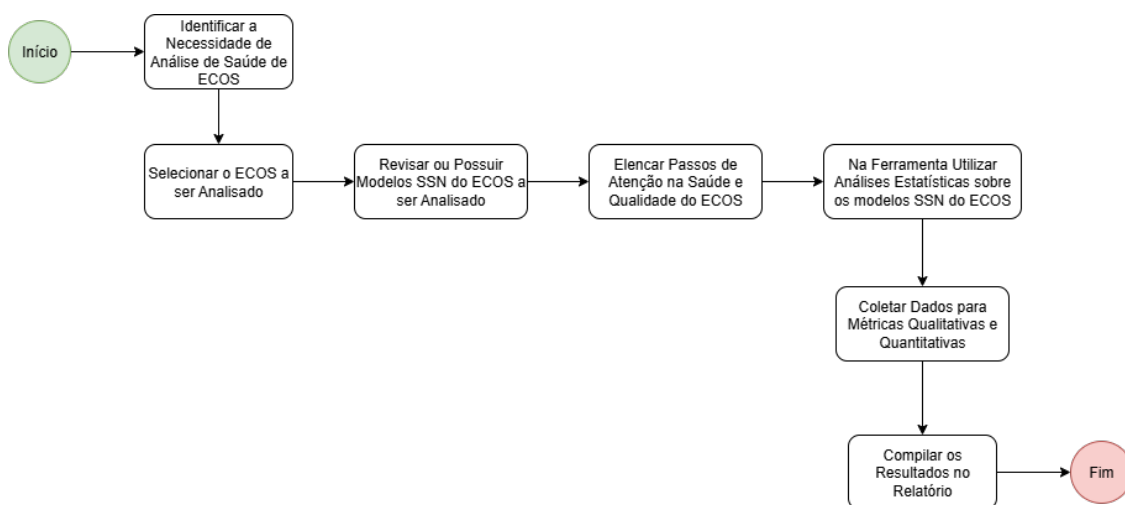


Figura 3. Fluxo da Abordagem

O processo da abordagem é composto pelas seguintes etapas: (i) inicialmente, a definição do propósito da avaliação, considerando o contexto do ecossistema, seu nível de maturidade e possíveis indícios de transformação estrutural; (ii) em seguida, a obtenção ou revisão dos modelos SSN, garantindo que representem adequadamente os atores, dependências e os fluxos existentes; (iii) o estabelecimento dos aspectos prioritários da análise, tais como níveis de conectividade, concentração de relacionamentos, diversidade de participantes e potenciais pontos de vulnerabilidade; (iv) então, a aplicação das métricas quantitativas e qualitativas propostas, a partir dos dados extraídos dos modelos, com o objetivo de gerar indicadores estruturais e evolutivos; e, por fim, (v) a consolidação e interpretação integrada dos resultados, possibilitando identificar tendências de expansão, reorganização ou simplificação do ecossistema, bem como possíveis impactos em sua sustentabilidade e robustez [Silva et al. 2025].

A abordagem foi incorporada a ferramenta *ECOS Modeling* [Pinheiro et al. 2025], permitindo a visualização dos modelos, a execução automática das análises e a comparação entre diferentes versões de um mesmo ECOS. O ambiente produz relatórios com métricas e indicadores que auxiliam na compreensão da configuração estrutural do ecossistema, no acompanhamento de sua evolução ao longo do tempo e na identificação de possíveis riscos ou oportunidades de aprimoramento. Para fins de validação, a abordagem foi aplicada em um estudo de caso com o ECOS SOLAR, um ecossistema de software real. A aplicação possibilitou identificar padrões de dependência, redução de conectividade, diminuição da diversidade de participantes e aumento do acoplamento es-

trutural, evidenciando aspectos relevantes relacionados a saúde e a qualidade do ecossistema.

## 5. Estudo de caso: ECOS SOLAR

Este estudo de caso apresenta a análise da saúde e da qualidade do ECOS SOLAR, um ecossistema real voltado ao contexto educacional. O objetivo dessa seção é descrever e analisar os resultados obtidos a partir da aplicação das métricas de saúde e qualidade sobre diferentes versões do ecossistema, para destacar sua evolução ao longo do tempo.

O sistema SOLAR foi selecionado por apresentar modelos SSN consolidados e amplamente documentados na literatura, conforme Coutinho et al. (2017) e Pinheiro e Coutinho (2024). A existência de múltiplas versões do ecossistema possibilita a análise comparativa entre diferentes momentos de sua evolução, permitindo observar padrões de crescimento, contração, estabilidade e consolidação estrutural.

Os modelos SSN das versões 1, 2 e 3 do ECOS SOLAR foram considerados como base para a análise [Pinheiro et al. 2022, Pinheiro et al. 2025]. As Figuras 4 e 5 apresentam os modelos das versões 1 e 2, permitindo observar as primeiras modificações estruturais ocorridas no ecossistema. As versões 2 e 3 do ECOS SOLAR foram utilizadas para ampliar a precisão da análise, conforme apresentado por [Pinheiro e Coutinho 2024]. A comparação entre as versões evidencia uma redução no número de fornecedores e empresas de interesse, decorrente da redução da equipe de manutenção e da adoção de tecnologias mais modernas, que substituíram soluções anteriores.

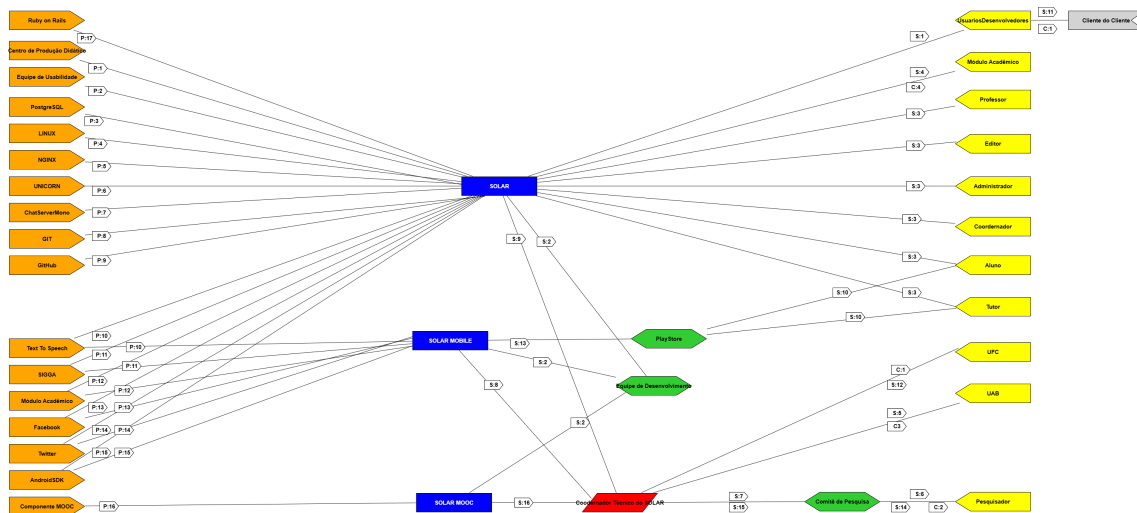


Figura 4. Versão 1 do Modelo SSN do ECOS SOLAR

A comparação entre as versões 1 e 2 destaca uma redução no número de fornecedores e empresas de interesse, indicando um processo inicial de contração do ecossistema. É possível observar também a diminuição no número total de relacionamentos e fluxos, refletindo a simplificação das interações entre os atores.

A Figura 6 apresenta a terceira versão do ECOS SOLAR, representando o estado mais recente do ecossistema. A Tabela 2 apresenta os dados numéricos básicos das três versões do ecossistema, incluindo atores, relacionamentos, fluxos e total de componentes.

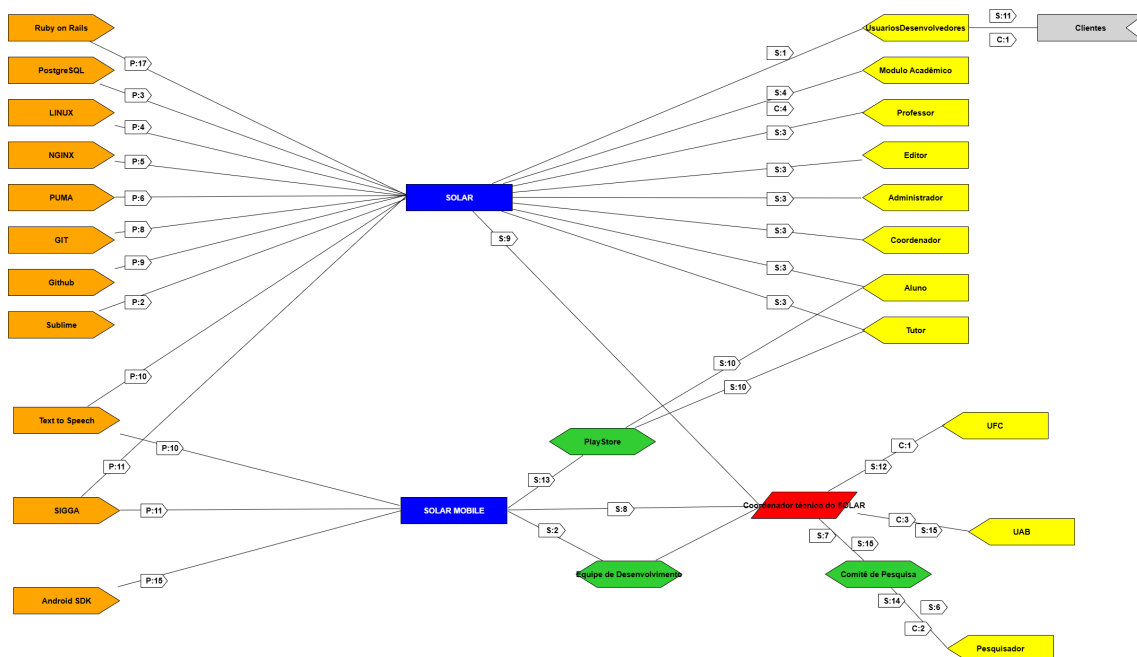


Figura 5. Versão 2 do Modelo SSN do ECOS SOLAR

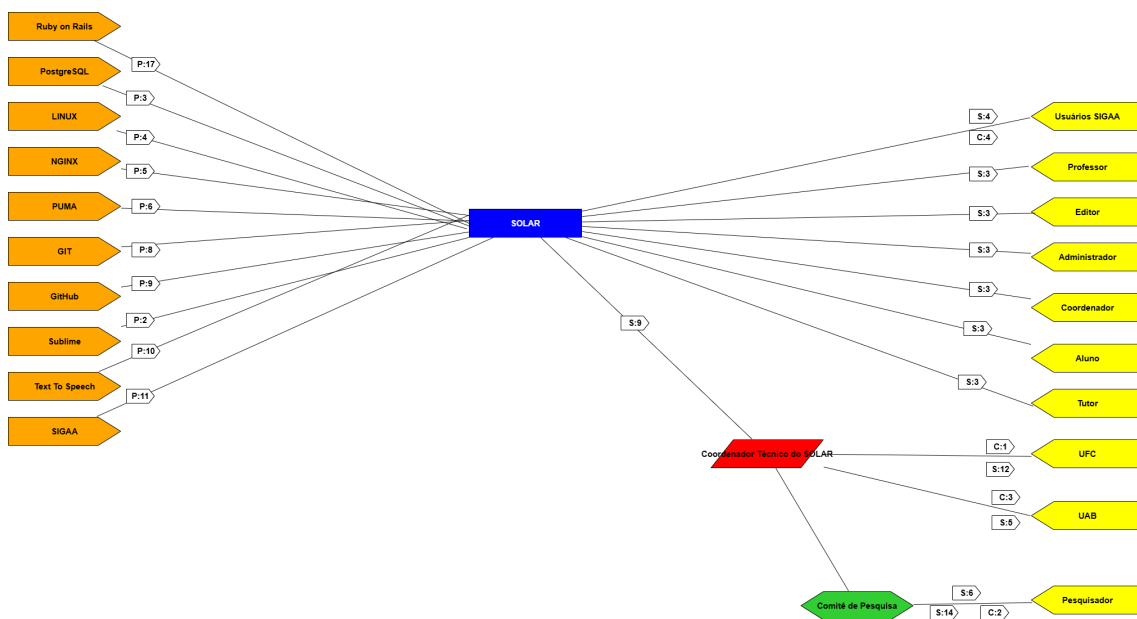


Figura 6. Versão 3 do Modelo SSN do ECOS SOLAR

Os dados mostram uma contração progressiva do ECOS entre as versões 1 e 3. O total de componentes foi reduzido de 88 para 49, enquanto os relacionamentos diminuíram de 45 para 22. Essa redução indica simplificação estrutural e maior concentração das interações. A taxa de retenção evidencia que parte dos atores foi mantida entre versões, mas também revela perdas relevantes, especialmente entre fornecedores e intermediários. Esse comportamento sugere um processo de consolidação, no qual apenas os elementos considerados essenciais permaneceram ao longo da evolução do ecossistema.

As métricas de modularidade indicam queda progressiva ao longo das versões, refletindo aumento do acoplamento entre os componentes remanescentes. Esse resultado pode impactar a flexibilidade e a capacidade de evolução futura do ecossistema, o que o torna mais dependente do núcleo central. É possível notar também aumento da centralidade do ator central, *keystone*, indicando maior concentração de responsabilidades e dependências na plataforma principal. Em paralelo a isso, a densidade da rede apresenta leve crescimento, sugerindo maior coesão entre os componentes que permaneceram no ecossistema após o processo de redução.

De forma geral, os resultados caracterizam o ECOS SOLAR como um ecossistema em processo de consolidação estrutural. Embora tenha ocorrido redução significativa no número de atores e relacionamentos, o núcleo foi preservado, mantendo a funcionalidade essencial da plataforma. O ecossistema se tornou menor, mais concentrado e estruturalmente simplificado ao longo do tempo.

A comparação entre as versões evidencia uma redução mais acentuada entre as versões 1 e 3, especialmente entre os fornecedores, reforçando o processo de consolidação do ecossistema. A taxa de retenção demonstra que parte dos atores e relacionamentos se manteve constante, indicando resiliência, embora com perdas relevantes que impactam diversidade e robustez. As métricas de saúde e qualidade revelam um ecossistema em transição e consolidação. O SOLAR manteve atividade e capacidade de renovação, mas apresenta sinais de alerta como redução da modularidade e aumento do acoplamento arquitetural, o que pode dificultar modificações futuras.

**Tabela 2. Dados numéricos básicos das versões do ECOS SOLAR**

| <b>Componente</b>               | <b>Versão 1</b> | <b>Versão 2</b> | <b>Versão 3</b> |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Empresa de Interesse            | 3               | 2               | 1               |
| Fornecedor                      | 17              | 11              | 10              |
| Cliente                         | 11              | 11              | 10              |
| Cliente do Cliente              | 1               | 1               | 0               |
| Intermediário                   | 3               | 3               | 1               |
| Agregador                       | 1               | 1               | 1               |
| <b>Total de Atores</b>          | <b>36</b>       | <b>29</b>       | <b>23</b>       |
| <b>Total de Relacionamentos</b> | <b>45</b>       | <b>33</b>       | <b>22</b>       |
| <b>Fluxos</b>                   | <b>52</b>       | <b>39</b>       | <b>26</b>       |
| <b>Total de Componentes</b>     | <b>88</b>       | <b>68</b>       | <b>49</b>       |

## **6. Discussão e Implicações para Sistemas Colaborativos**

A análise conduzida sobre o ECOS SOLAR evidencia implicações relevantes para o contexto de sistemas colaborativos, especialmente no que se refere à coordenação entre múltiplos atores, à sustentabilidade das interações e à evolução estrutural do ecossistema ao longo do tempo.

Os resultados demonstram que a redução no número de atores e relacionamentos entre as versões impacta na diversidade e dinâmica colaborativa do ecossistema. A diminuição de fornecedores, intermediários e empresas de interesse indica um processo de consolidação estrutural que, embora possa favorecer maior controle e alinhamento estratégico, também reduz a variedade de participantes e as possibilidades de colaboração.

Percebe-se que o aumento da centralização em torno do ator central reforça a dependência da plataforma principal, concentrando responsabilidades e decisões. Em sistemas colaborativos, esse movimento pode fortalecer a coordenação, mas também aumentar os riscos associados à sobrecarga do núcleo e à redução da autonomia dos demais participantes. A queda na modularidade e o aumento do acoplamento indicam menor independência entre os componentes remanescentes. Em ambientes colaborativos, essa característica pode dificultar a entrada de novos atores, limitar a flexibilidade para adaptações futuras e restringir a capacidade de inovação distribuída.

Por outro lado, a manutenção parcial de atores ao longo das versões destaca um certo grau de estabilidade nas relações colaborativas, sugerindo que o ecossistema preservou conexões consideradas essenciais para sua operação. Essa retenção contribui para a continuidade das atividades e para a manutenção do conhecimento compartilhado entre os participantes.

De forma geral, o estudo de caso do ECOS SOLAR demonstra que a análise estrutural baseada em modelos SSN permite compreender como mudanças arquiteturais influenciam a dinâmica colaborativa do ecossistema. A identificação de tendências de centralização, contração e consolidação estrutural fornece subsídios para refletir sobre governança, sustentabilidade e equilíbrio entre controle e diversidade em sistemas colaborativos.

## **7. Considerações Finais**

Este trabalho apresentou um estudo de caso voltado à análise da saúde e da qualidade do ECOS SOLAR, considerando diferentes versões do ecossistema ao longo do tempo. A partir da aplicação das métricas estruturais sobre os modelos SSN, foi possível observar padrões de evolução, contração e consolidação estrutural.

Os resultados evidenciaram uma redução progressiva no número de atores, relacionamentos e componentes, caracterizando um processo de simplificação do ecossistema. Embora o núcleo central tenha sido preservado e mantido sua funcionalidade, foi verificado um aumento da centralização em torno do *keystone*, redução da modularidade e diminuição da diversidade de participantes. Esses fatores indicam um movimento de consolidação que, ao mesmo tempo em que pode favorecer controle e alinhamento estratégico, pode impactar a flexibilidade e a sustentabilidade do ecossistema a longo prazo.

A análise comparativa entre as versões demonstrou a utilidade das métricas estruturais para identificar tendências de estabilidade, retenção de atores e alterações na dinâmica colaborativa. O estudo reforça a importância de monitorar continuamente indicadores de saúde e qualidade em ecossistemas de software, especialmente em contextos colaborativos caracterizados por múltiplos atores e interdependências.

Como implicação prática, os resultados fornecem subsídios para apoiar decisões relacionadas à governança, evolução arquitetural e manutenção da sustentabilidade do

ecossistema. A compreensão das mudanças estruturais ao longo do tempo permite antecipar riscos associados à centralização excessiva, perda de diversidade e ao aumento do acoplamento.

Como trabalhos futuros, é sugerido ampliar a análise para outros ecossistemas de software, possibilitando comparações entre diferentes contextos e níveis de maturidade, bem como investigar a evolução longitudinal do ECOS SOLAR em versões posteriores, aprofundando a compreensão de sua dinâmica colaborativa.

### **Uso de Inteligência Artificial Generativa (IAG)**

Este artigo não utilizou nenhuma ferramenta de Inteligência Artificial Generativa (IAG) em sua elaboração. Todo o conteúdo foi obtido e analisado baseado nas experiências dos autores.

### **Agradecimentos**

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade nível 1D (Nº 306362/2021-0) de Rossana Maria de Castro Andrade.

### **Referências**

- Bosch, J. (2009). From software product lines to software ecosystems. In *2009 13th International Software Product Line Conference*, volume 9, pages 111–119.
- Boucharas, V., Jansen, S., e Brinkkemper, S. (2009). Formalizing software ecosystem modeling. In *Proceedings of the 1st international workshop on Open component ecosystems*, pages 41–50.
- Carvalho, I., Campos, F., Braga, R., David, J. M. N., Stroelle, V., e Araújo, M. A. (2017). Heal me-an architecture for health software ecosystem evaluation. In *2017 IEEE/ACM Joint 5th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and 11th Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems (JSOS)*, pages 59–65. IEEE.
- Coutinho, E. F., Viana, D., e dos Santos, R. P. (2017). An exploratory study on the need for modeling software ecosystems: The case of solar seco. In *9th International Workshop on Modelling in Software Engineering (MISE)*, MISE '17.
- Evertse, R., Lencz, A., Šinik, T., Jansen, S., e Soussi, L. (2021). 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*, pages 96–105. Springer.
- Jansen, S. (2020). A focus area maturity model for software ecosystem governance. *Information and Software Technology*, 118:106219.
- Jansen, S., Brinkkemper, S., e Finkelstein, A. (2007). Providing transparency in the business of software: a modeling technique for software supply networks. In *Working Conference on Virtual Enterprises*, pages 677–686. Springer.

- Johnson, D., Tizard, J., Damian, D., Blincoe, K., e Clear, T. (2020). Open crowdre challenges in software ecosystems. In *2020 4th international workshop on crowd-based requirements engineering (CrowdRE)*, pages 1–4. IEEE.
- Manikas, K. (2016). Revisiting software ecosystems research: A longitudinal literature study. *Journal of Systems and Software*, 117:84–103.
- Manikas, K. e Hansen, K. M. (2013). Software ecosystems—a systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 86(5):1294–1306.
- Pinheiro, F., Coutinho, E., Lima, R., Silva, M., Bezerra, C., e Andrade, R. (2025). Ecos modeling: A modeling tool, repository for models and evolution analysis of software ecosystems. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 369–378, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Pinheiro, F. V. e Coutinho, E. (2024). Uma abordagem baseada em rede de fornecimento de software para análise da evolução de ecossistemas de software. In *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 138–153, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Pinheiro, F. V., Coutinho, E., Silva, M. E., e Bezerra, C. (2024). A systematic mapping of health, quality, evolution, simulation and modeling in software ecosystems. In *Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Information Systems*, pages 1–10.
- Pinheiro, F. V. d. S., Coutinho, E. F., Santos, I., e Bezerra, C. I. (2022). A tool for supporting the teaching and modeling of software ecosystems using ssn notation. *Journal on Interactive Systems*, 13(1):192–204.
- Santos, R., Valença, G., Viana, D., Estácio, B., Fontão, A., Marczak, S., Werner, C., Alves, C., Conte, T., e Prikladnicki, R. (2014). Qualidade em ecossistemas de software: Desafios e oportunidades de pesquisa. In *Proceedings of VIII Workshop on Distributed Software Development, Software Ecosystems and Systems-of-Systems*, pages 41–44.
- Schueller, W. e Wachs, J. (2024). Modeling interconnected social and technical risks in open source software ecosystems. *Collective Intelligence*, 3(1):26339137241231912.
- Silva, A., Pinheiro, F., e Coutinho, E. (2025). Uma abordagem baseada em modelos ssn para análise da saúde e qualidade de ecossistemas de software. In *Anais Estendidos do XXI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 379–385, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Silva, F. M. A., da Silva Pinheiro, F. V., e Coutinho, E. F. (2021). Um estudo preliminar sobre a saúde de ecossistemas de software. *Revista Sistemas e Mídias Digitais (RSMD)*, 6(1).
- Souza, L. S., Rodríguez, G., e Rocha, F. G. (2018). Gestão da qualidade em ecossistemas de software: Um mapeamento sistemático da literatura. In *CoNaIISI 2018 (VI Congresso Nacional de Ingeniería en Informática / Sistemas de Información)*.