

4

Desafio: Eco(Sistemas²) de Informação - Ecossistemas de Sistemas de Informação

Participantes

Valdemar Vicente Graciano Neto (UFG), Daniela Barreiro Claro (UFBA), Adicinea Oliveira (UFS), Celia Ghedini Ralha (UNB), José Maria Nazar David (UFJF), Luciana Campos (UFJF), Maria Cláudia Emer (UTFPR), Odette Mestrinho Passos (UFAM), Regina Braga (UFJF), Rita Suzana Pitangueira Maciel (UFBA), Thiago Rocha, Vera Werneck (UERJ) e Victor Stroele (UFJF).

4.1. Descrição do desafio

A partir das ideias norteadoras submetidas, os participantes do Seminário propuseram as seguintes questões para esse desafio:

- Simulação: Ferramenta crucial para modelar comportamentos complexos, permitindo experimentação e previsão;
- *Digital Twin*: Representação virtual de objetos ou sistemas reais para monitoramento e otimização em tempo real;
- Interoperabilidade Sociotécnica: Capacidade dos sistemas e atores interagirem eficazmente, considerando tanto aspectos técnicos quanto sociais; e
- Integração Descentralizada: Estrutura que permite múltiplas entidades colaborarem de forma distribuída com autonomia e segurança.

A ideia central do desafio foi justamente resumida na concepção de verdadeiros ecossistemas em torno de sistemas complexos maiores que envolvem, como constituintes, vários sistemas de informação. Esta ideia, que foi chamada de Eco(Sistemas²) de Informação, ou Ecossistemas de Sistemas de Informação (talvez EcoSys² possa ajudar na pronúncia mais abreviada) é uma ideia já prevista anteriormente [Graciano Neto et al. 2018], mas que ganha novos contornos com tecnologias habilitadoras que traduzem os problemas típicos da concepção de tais sistemas.

De um lado, o cerne de tudo é a interoperabilidade, isto é, a capacidade destes sistemas de comunicarem-se entre si, cooperarem para atingir objetivos mais amplos, e apoiar também que decisões sejam tomadas de forma comunitária e interações sociais (interoperabilidade social) também aconteçam. Além disso, torna-se necessário avançar nos níveis de interoperabilidade [Maciel et al 2024], tais como interoperabilidade técnica, sintática, semântica e pragmática, como proposto anteriormente, além da organizacional [Proencia et al. 2025] com o intuito de prover uma comunicação entre os diversos sistemas membros que compõem esse ecossistemas. Através dos diversos níveis de interoperabilidade, é possível alcançar as metas previstas por cada sistema do

ecossistema, focando em contextos e alcançando intenções para uma maior harmonia e correteza na operacionalização.

Ainda, depreende-se a necessidade de integração descentralizada. A integração, que nada mais é do que o aparato técnico necessário para possibilitar a interoperabilidade, ainda depende majoritariamente de tecnologias proprietárias que não necessariamente cuidam de aspectos como segurança, privacidade e cuidado com os dados dos usuários. Com a ascensão dos EcoSys², cujos exemplos prementes são as cidades inteligentes, esse problema torna-se ainda mais prevalente.

A comunicação entre estes sistemas no mundo aberto demanda então a concepção e uso de novas abordagens de integração, que reforcem a privacidade dos dados dos usuários sendo trafegados. Neste caso, descentralizado significa basear-se em tecnologias não centralizadoras como aquelas das *Big Techs*, mas priorizar tecnologias próprias e seguras. Blockchain também pode ser outra tecnologia habilitadora que favorece a descentralização. Outra forma de descentralização diz respeito à necessidade destes sistemas se comunicarem, muitas vezes, sem a necessidade de um intermediário, como um servidor físico, visto que às vezes não há redes disponíveis (Wi-Fi, satélite, etc.), e mesmo assim os sistemas precisam se conectar independentemente disso, usando seus próprios recursos de comunicação por proximidade, por exemplo.

Por outro lado, estão as tecnologias irmãs: simulação e gêmeos digitais (do inglês, *digital twins*). Gêmeos digitais são um sistema formado por duas partes principais: um componente físico sendo monitorado por sensores e controlado por atuadores e uma réplica digital, que é um modelo computacional que captura a essência do sistema físico, recebendo os dados do monitoramento via sensores, computando sobre tais dados e atuando de volta no sistema físico para otimizar seu funcionamento. Muito frequentemente, este modelo computacional é justamente um modelo de simulação, capaz de representar o componente físico.

Os elementos todos se conectam porque carros autônomos, por exemplo, inerentemente possuem gêmeos digitais e simulações como parte de sua arquitetura. Estes constituintes de uma cidade inteligente precisam se comunicar eficazmente e de forma descentralizada no mundo aberto. Neste sentido, emergem os EcoSys² que demandam a devida investigação em cada um desses eixos.

4.2. Justificativa

Segundo os debatedores, a justificativa para direcionar esforços em direção a este desafio envolvem:

- Impacto na vida diária: Os sistemas inteligentes influenciam mobilidade, saúde, educação e segurança, afetando o cotidiano social; e
- Soberania digital: Preservar o controle sobre dados e infraestrutura é vital para garantir autonomia e proteger direitos nacionais.

De fato, o impacto na vida diária e a importância da soberania digital justificam os esforços de pesquisa nesta direção. Os principais expoentes dos EcoSys² são justamente as cidades inteligentes, verdadeiros ecossistemas formados por vários sistemas complexos que interagem entre si, impactando a vida de milhões de cidadãos diariamente. A soberania digital, por outro lado, representa a necessidade de não depender de tecnologia externa, fornecendo os dados dos usuários sem nenhuma proteção às

detentoras das tecnologias. Neste sentido, há a necessidade de desenvolvimento de soluções que não estejam centralizadas em grandes empresas, cuidando devidamente da privacidade dos dados dos usuários que trafegam nos sistemas que fazem parte do ecossistema.

4.3. Ações

Como agenda, foram propostas as seguintes ações:

- **Integração complexa:** Conectar múltiplos sistemas heterogêneos mantendo coerência e desempenho;
- **Governança distribuída:** Definir regras claras e flexíveis para coordenação entre atores diversos e autônomos;
- **Segurança e privacidade:** Garantir proteção contra vulnerabilidades e respeitar direitos em ambientes altamente conectados;
- **Projetos de pesquisa integrados:** Promover colaboração interdisciplinar focada em soluções práticas e escaláveis;
- **Estado da arte da IA:** Monitorar avanços e aplicar inovações com ética e responsabilidade sociotécnica; e
- **Capacitação e formação:** Formar profissionais capazes de lidar com desafios complexos dos sistemas inteligentes.

A **integração complexa** nos EcoSys² envolve a articulação de sistemas heterogêneos que precisam se comunicar e operar em conjunto de forma coerente e eficiente. Essa integração vai além do nível técnico, pois deve garantir interoperabilidade sociotécnica, respeitando tanto os protocolos computacionais quanto as interações humanas e organizacionais que emergem no ecossistema.

A **governança distribuída** está intimamente ligada à ideia de integração descentralizada, visto que sistemas e atores autônomos precisam de mecanismos de coordenação que não dependam de autoridades centralizadoras e que permitam coabitar inclusive interesses conflitantes. Modelos de governança baseados em tecnologias como blockchain podem possibilitar regras claras, auditáveis e adaptáveis, promovendo transparência, legitimidade e até mesmo automação com *smart contracts* e Organizações Autônomas Descentralizadas (do inglês *Decentralized Autonomous Organizations, DAO*). Esse eixo de pesquisa deve também considerar a dimensão social da interoperabilidade, garantindo que diferentes comunidades e organizações participem ativamente da definição de políticas e protocolos que orientam o funcionamento dos ecossistemas.

Segurança e privacidade assumem papel central em cenários que combinam gêmeos digitais e integração descentralizada, pois os dados coletados por sensores e simulados em ambientes virtuais podem ser sensíveis e pessoais. A transferência dessas informações entre sistemas distintos precisa garantir proteção contra vulnerabilidades e respeito à soberania digital, evitando dependência de soluções proprietárias e centralizadas. A pesquisa deve avançar em soluções que conciliem interoperabilidade com anonimização, criptografia e mecanismos de confiança, assegurando que os usuários mantenham controle sobre seus próprios dados nos ecossistemas inteligentes.

Os **projetos de pesquisa integrados** refletem a natureza multidimensional dos EcoSys², que exigem a união de áreas como ciência da computação, engenharia de

sistemas, ciências sociais e políticas públicas, ou seja, justamente o objetivo de estudo da Ciência de Sistemas de Informação. Simulação e gêmeos digitais, por exemplo, dependem tanto de modelagem matemática e computacional quanto da análise de impacto social e regulatório. A colaboração interdisciplinar é essencial para criar soluções escaláveis que atendam a demandas práticas, como mobilidade urbana e saúde digital, fortalecendo a integração de saberes e promovendo ecossistemas mais robustos e inclusivos.

O **estado da arte da inteligência artificial (IA)** é particularmente relevante para o avanço de simulações e gêmeos digitais, já que a precisão desses modelos depende da capacidade de analisar dados em tempo real e gerar previsões confiáveis. Além disso, a IA pode atuar como facilitadora da interoperabilidade sociotécnica, mediando interações complexas entre sistemas e pessoas. No entanto, é necessário que as aplicações respeitem princípios éticos e de responsabilidade, prevenindo vieses e decisões automatizadas opacas. Esse eixo de pesquisa deve se concentrar em IA explicável e auditável, garantindo transparência e confiança no contexto dos ecossistemas.

Por fim, a **capacitação e formação de profissionais** deve preparar especialistas capazes de lidar com os múltiplos eixos que compõem os EcoSys². Isso significa formar pessoas aptas a compreender desde os fundamentos de simulação e gêmeos digitais, até os desafios de integração descentralizada e interoperabilidade sociotécnica. Além da dimensão técnica, é crucial que essa formação contemple aspectos sociais, éticos e regulatórios, de modo a criar profissionais capazes de desenvolver soluções inovadoras sem perder de vista os impactos na vida cotidiana e a importância da soberania digital.

4.4. Ideias norteadoras do desafio

7. [*Conceiving Socio-technical Information Systems from the Perspective of Digital Twins*](#). Celia G. Ralha (UNB/UFBA), Daniela B. Claro (UFBA), Rita S. P. Maciel (UFBA)
8. [*Interoperability in Complex and Socio-Technical Information Systems: A Critical Challenge for the Next Decade*](#). Rita Suzana Pitangueira Maciel (UFBA), José Maria N. David (UFJF), Elisa Yumi Nakagawa (USP)
9. [*Modelagem e Simulação: Um Grande Desafio para Sistemas de Informação*](#). Valdemar Vicente Graciano Neto (UFG), Celia Ghedini Ralha (UNB/UFBA)
10. [*The Evolution Towards Decentralized and Privacy-Oriented Integration: Challenges and a New Perspective*](#). Valdemar Vicente Graciano Neto (UFG), Rafael Z. Frantz (Unijuí)

Esclarecimentos

Conforme requerido pelo Código de Conduta da SBC, declaramos explicitamente que o ChatGPT (versão 4-turbo) foi utilizado para auxiliar na redação da Seção 4.3. Estamos cientes de que o uso de tal ferramenta não exime os autores da responsabilidade por todo o conteúdo, mas esclarecemos que realizamos a curadoria do material e o moldamos até a versão final, além de termos escrito a maior parte inteiramente de próprio punho e com base em nossa experiência no assunto.

Referências

- Graciano Neto, V. V., Santos, R. P., Viana, D. and Araujo, R. N. (2018) “Towards a Conceptual Model to Understand Software Ecosystems Emerging from Systems-of-Information Systems”, Workshop of Human-Computer Interaction Aspects to the Social Web. Cham: Springer International Publishing. p. 1-20..
- Proencia, E. C. S., Mascarenhas, A. P. F. M., Mane, B., Claro, D. B. and Maciel, R. S. P. (2025) “Organizational Interoperability: A Systematic Mapping Study”, XXI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, Recife. Sociedade Brasileira de Computação.
- Maciel, R. S. P., Valle, P. H., Santos, K. S. and Nakagawa, E. Y. (2024) “Systems Interoperability Types: A Tertiary Study”. ACM Computing Surveys, v. 1, p. 1.