



Identificação de relações de hélice quintupla em ecossistemas de inovação utilizando inteligência artificial

Andressa de Mello Peres Vieira, Flavio Moura Leite Vieira, Emerson Luis Pereira, Andre Moraes dos Santos

Administração - Administração de Empresas

Introdução

O modelo de hélice quintupla é uma representação baseado na inovação a partir da interação de quatro atores: universidade, empresas, governo e sociedade civil, em um contexto de desenvolvimento sustentável. A identificação e análise destas relações em ecossistemas exige a compreensão de dados estruturados e não estruturados, dispersos entre os diferentes atores. Por consequência, a tarefa de pesquisa torna-se mais difícil e intensiva em recursos humanos. Entretanto, o avanço dos sistemas baseados em IA tem permitido a análise de dados não estruturados de forma contextual, auxiliando e acelerando a tarefa de pesquisa. Assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o uso da inteligência artificial para a identificação de relações baseadas no modelo de hélice quintupla em ecossistemas de inovação.

Base teórica

A concepção de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) surgiu como uma superação do modelo linear de inovação, formalizado academicamente a partir dos anos 1980 e consolidado na década de 1990 por trabalhos como de Freeman (1987), Nelson (1991) e Lundvall (1992). O conceito de SNI postula que a vantagem competitiva de uma nação deriva de um arranjo sistêmico complexo. Este sistema é caracterizado pela interação e colaboração entre diversos atores públicos e privados — incluindo governo, universidades, empresas e centros de pesquisa — fomentada por políticas públicas que visam a geração, difusão e aplicação de conhecimento tecnológico. O desenvolvimento de inovações é, portanto, entendido como um processo coletivo e iterativo, que depende de alinhamentos institucionais e da integração entre níveis nacional, regional e local para facilitar o acesso a recursos tecnológicos, financeiros e de conhecimento. (LUNDVALL, 2010).

Com base na transição para uma economia do conhecimento, Leydesdorff e Etzkowitz (1996) propuseram, no final da década de 1990, o modelo da Hélice Tríplice para explicar a nova dinâmica da inovação. Este modelo, que se tornou um dos mais influentes para o estudo das relações entre universidade, empresa e governo, argumenta que os papéis tradicionais desses três atores se reconfiguraram, permitindo sobreposições e a hibridação de suas funções. A principal tese é que a universidade assume uma função mais proativa e empreendedora, participando ativamente da produção e comercialização do conhecimento por meio de incubadoras e da criação de novos negócios, gerando assim novos arranjos institucionais para a aplicação do saber (ETZKOWITZ; LEYDESDORFF, 2000).

Posteriormente, o modelo da Hélice Tríplice foi expandido para incorporar outras dimensões cruciais para o processo de inovação. Carayannis e Campbell (2009) introduziram a Hélice Quádrupla, adicionando a "sociedade" como um quarto ator, que, por meio da cultura, dos valores e dos meios de comunicação, participa ativamente na cocriação e direcionamento das inovações. Em uma evolução subsequente, os mesmos autores propuseram a Hélice Quintupla, que integra o "ambiente natural" como a quinta dimensão. Este modelo mais recente contextualiza a inovação dentro dos imperativos da sustentabilidade, defendendo que o desenvolvimento econômico deve estar em equilíbrio com o meio ambiente e ressaltando a necessidade de uma abordagem transdisciplinar para solucionar os complexos desafios socioecológicos (CARAYANNIS; CAMPBELL, 2011).

A ideia de governança do ecossistema de inovação repousa sobre a visão de um sistema de inovação e os papéis que universidades, indústria, governo e sociedade desempenham na criação de uma rede de colaboração para a geração de inovações e desenvolvimento econômico. Esta perspectiva desponta como um dos principais temas atuais para o estudo de ecossistemas, onde busca-se compreender como estes ecossistemas surgem, se desenvolvem e como as relações entre os atores podem influenciar a geração de inovações e valor econômico (SUOMINEN; SEPPÄNEN; DEDEHAYIR, 2019). Os ecossistemas de inovações, centrados em complementariedades de recursos, são importantes para o estabelecimento de plataformas e incentivos aos modelos de negócios voltados para a produção de inovações complementares (GAWER;



24º SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

13ª Mostra Científica de Integração
entre Pós-Graduação e Graduação
3ª Jornada de Tecnologia e Inovação

CUSUMANO, 2014). A literatura já tem demonstrado que, em escalas competitivas, muitas inovações dependem de outras menores que habilitam a criação do produto ou serviço. Assim, em um ecossistema, muitas inovações interdependentes podem surgir e precisam do fortalecimento das relações inter-firmas e entre os diferentes atores (ADNER; KAPOOR, 2010).

Método

Para avaliar estas novas ferramentas, esta pesquisa coletou dados do ecossistema de XX centros de inovações catarinenses a partir das páginas institucionais destes centros. Os centros de inovação analisados foram: o Gene (Blumenau), 408Lab (Brusque), Inova Contestado (Caçador), Pollen Parque Científico e Tecnológico (Chapecó), o centro de Criciúma, ACATE (Florianópolis), Elume Park (Itajaí), Novale Hub (Jaraguá do Sul), Agora Tech Park (Joinville), Inovale (Joaçaba), Orion Parque (Lages), Norberto Frahm (Rio do Sul), Planalto Norte (São Bento do Sul), Sigma Park (Tubarão) e Dante Martorano (Videira). Em seguida, submeteu-se o conjunto de dados de cada centro a uma avaliação por IA. Foram utilizados modelos de LLM (Large Language Models) e o uso de prompts estruturados com instruções claras sobre as dimensões do modelo de hélice quintupla e critérios de avaliação. O uso de LLM para auxiliar a análise textual qualitativa de grandes volumes de dados é recomendado por Hayes (2025), por acelerar o processo e auxiliar o pesquisador na identificação inicial e sumarização temática. Para Tai et al. (2024) a combinação da capacidade da IA com a análise humana especializada é útil para agilizar e melhorar a interpretação e análise de dados textuais. Os resultados foram avaliados por dois especialistas com profundo conhecimento dos centros de inovação.

Resultados

Com base na análise realizada pelo modelo de IA LLM, diversos centros de inovação demonstram um alto nível de maturidade, com Elume (Itajaí), CELTA (Florianópolis), ACATE (Florianópolis), Agora Tech Park (Joinville) e CINF (Norberto Frahm) alcançando o nível "Avançado" em todas as seis hélices avaliadas: Governo, Universidade, Indústria, Mídia e Cultura, Sociedade Civil e Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. De forma semelhante, o CRIO (Criciúma) também foi classificado como "Avançado" na maioria das hélices, com exceção de "Mídia e Cultura", que foi considerada de nível "Intermediário". Por fim, tanto o Instituto Gene (Blumenau) quanto o Centro de Inovação do Planalto Norte (São Bento do Sul) apresentaram um desempenho "Avançado" em cinco das seis categorias, sendo a hélice "Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável" a única classificada como de nível "Intermediário" para ambos. Identificou-se que os modelos de LLM são úteis e conseguiram identificar corretamente as evidências relacionadas a cada um dos elementos do modelo de hélice quintupla, bem como apontar a possível ausência de evidências.

Estes resultados foram comparados com a opinião de dois especialistas, que analisaram também os dados que foram fornecidos para os modelos. Na opinião dos especialistas, ao analisar todos os resultados, percebe-se um padrão, onde quase todos os centros foram classificados em nível de maturidade "Avançado" em relação às suas conexões com as hélices (Governo, Universidade, Empresas, Sociedade/Mídia). Ainda, de acordo com os especialistas, as avaliações consideraram evidências formais, como contratos, editais de fomento, presença de representantes de governo em conselhos ou participação em eventos etc., como sinais de maturidade avançada. Contudo, muitos desses elementos representam condições mínimas de funcionamento e parte da própria constituição legal dos centros, não necessariamente um estágio consolidado de integração. Também foi observada uma análise com viés positivo sobre a efetividade com base nas evidências. A menção de editais, eventos e parcerias sem a presença de resultados concretos (ex.: startups graduadas com impacto, geração de propriedade intelectual patenteada, projetos efetivamente implementados em escala regional) era interpretada como efetiva realização. Ou seja, a narrativa privilegia intenções e estruturas, mais do que impactos comprovados.

Discussão final e Limitações

A pesquisa demonstrou que os modelos de IA LLMs, foram capazes de identificar corretamente as evidências de relações de diferentes atores do modelo de hélice quintupla. Porém, com relação a avaliação destas relações, quando comparadas a opinião de especialistas, identificou-se que a IA superestimou as evidências e apresentou um viés positivo para inferir sobre a qualidade e maturidade destas relações. Embora os resultados indiquem o uso promissor de modelos LLM para auxílio na pesquisa de ecossistemas de inovação, são necessários mais estudos para avaliar os vieses e ajuste e calibração dos conjuntos de instruções de avaliação. Além disso, este estudo avaliou apenas um modelo de LLM, de uso aberto. Assim,



24º SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

13ª Mostra Científica de Integração
entre Pós-Graduação e Graduação
3ª Jornada de Tecnologia e Inovação

recomenda-se que estudos futuros ampliem a comparação dos resultados com o uso de diferentes modelos e estruturas de comandos de forma a avaliar a estabilidade e validade das análises.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Ecossistemas de Inovação; Hélice quintupla

Referências

- ADNER, R.; KAPOOR, R. Value creation in innovation ecosystems: how the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic Management Journal*, v. 31, n. 3, p. 306–333, 2010.
- CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J. “Mode 3” and “Quadruple Helix”: toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, v. 46, n. 3/4, p. 201, 2009.
- CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J. Triple Helix, Quadruple Helix and Quintuple Helix and How Do Knowledge, Innovation and the Environment Relate To Each Other?: A Proposed Framework for a Trans-disciplinary Analysis of Sustainable Development and Social Ecology. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, v. 1, n. 1, p. 41–69, 2010.
- ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research policy*, v. 29, n. 2, p. 109–123, 2000.
- FREEMAN, C. *Technology policy and economic performance*. [s.l.] Pinter Publishers Great Britain, 1987.
- GAWER, A.; CUSUMANO, M. A. Industry Platforms and Ecosystem Innovation: Platforms and Innovation. *Journal of Product Innovation Management*, v. 31, n. 3, p. 417–433, maio 2014.
- Hayes, A. S. (2025). “Conversing” With Qualitative Data: Enhancing Qualitative Research Through Large Language Models (LLMs). *International Journal of Qualitative Methods*, 24, 16094069251322346. <https://doi.org/10.1177/16094069251322346>
- NELSON, R. R. *National innovation systems: a retrospective on a study*. [s.l.] University of California at Berkeley, Center for Research in Management, Consortium on Competitiveness & Cooperation, 1991.
- Schwiter, N. (2025). Using large language models for preprocessing and information extraction from unstructured text: A proof-of-concept application in the social sciences. *Methodological Innovations*, 20597991251313876. <https://doi.org/10.1177/20597991251313876>
- SUOMINEN, A.; SEPPÄNEN, M.; DEDEHAYIR, O. A bibliometric review on innovation systems and ecosystems: a research agenda. *European Journal of Innovation Management*, v. 22, n. 2, p. 335–360, 4 mar. 2019.
- Tai, R. H., Bentley, L. R., Xia, X., Sitt, J. M., Fankhauser, S. C., Chicas-Mosier, A. M., & Monteith, B. G. (2024). An Examination of the Use of Large Language Models to Aid Analysis of Textual Data. *International Journal of Qualitative Methods*, 23, 16094069241231168. <https://doi.org/10.1177/16094069241231168>
- Thelwall, M. (2002). Methodologies for crawler based Web surveys. *Internet Research*, 12(2), 124–138. <https://doi.org/10.1108/10662240210422503>

Apoio: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)