

A Quíntupla Hélice como Modelo de Inovação e Sustentabilidade: uma Revisão Sistemática de Literatura

Isidro José Bezerra Maciel Fortaleza do Nascimento ¹, Breno Henrique Azevedo Bezerra de Sousa², Cynthia Almeida De Souza ³, Elton Jhon Almeida De Souza ⁴, Evanilde Mariano dos Santos ⁵, Fernando Diniz Abreu e Silva ⁶, Gislene Silva Lima⁷, Hugo Silva Ferreira ⁸, Jorge Martins Fagundes ⁹, Maria Eneida da Silva Pinheiro Almeida ¹⁰, Marília Cristine Valente Viana ¹¹, Paulo Sérgio Santos Moreira ¹², Rafael Soares Cardoso ¹³, Jefferson Dantas dos Santos ¹⁴, Edson Nogueira da Silva ¹⁵

¹(Doutor em Educação, Universidade de São Paulo, Brasil)

²(Mestrando em Administração, Must University, EUA)

³(Doutoranda em Literatura, Universidade de Brasília, Brasil)

⁴(Mestrando em Química, Universidade de Brasília, Brasil)

⁵(Mestranda em Administração, Must University, EUA)

⁶(Doutorando em Administração, Faculdade Interamericana de Ciências Sociais, Paraguai)

⁷(Mestranda em Administração, Must University, EUA)

⁸(Mestrando em Administração, Must University, EUA)

⁹(Mestre em História, Universidade de Vassouras, Brasil))

¹⁰(Doutoranda em Educação, Universidade de La Empresa, Uruguai)

¹¹(Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, Brasil)

¹²(Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, Brasil))

¹³(Mestrando em Avaliação, Cesgranrio, Brasil)

¹⁴(Mestre em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Amazonas, Brasil)

¹⁵(Doutorando em Administração, Faculdade Interamericana de Ciências Sociais, Paraguai)

Abstract:

Background: O modelo da Quíntupla Hélice tem emergido como uma estrutura teórica promissora para orientar a inovação sustentável ao integrar universidade, governo, indústria, sociedade civil e meio ambiente como elementos interativos de um ecossistema. Apesar de sua popularidade crescente, ainda há lacunas quanto à sua efetividade prática, especialmente em contextos periféricos.

(10)

Materials and Methods: Este estudo adota uma abordagem qualitativa e exploratória, com base em revisão sistemática da literatura científica indexada na base Web of Science, considerando artigos publicados entre 2016 e 2023 que abordam diretamente a Quíntupla Hélice sob a ótica da inovação sustentável. O corpus empírico foi composto por nove artigos, os quais foram analisados à luz da literatura teórica clássica e contemporânea.

Results: Os resultados foram organizados em três categorias principais: (i) limitações institucionais e contextuais à aplicação do modelo, (ii) reconfigurações emergentes alinhadas a agendas verdes, digitais e setoriais, e (iii) propostas transformativas orientadas à consolidação do modelo como instrumento de governança sustentável. A triangulação evidenciou uma forte coerência entre os achados recentes e os fundamentos conceituais da inovação sistêmica e aberta.s.

Conclusion: Conclui-se que a Quíntupla Hélice apresenta alto potencial como arcabouço teórico e prático para fomentar a inovação sustentável, desde que contextualizada às realidades locais e acompanhada de políticas públicas sensíveis à diversidade territorial e cognitiva. O modelo oferece subsídios relevantes para o desenvolvimento de estratégias de inovação multissetorial orientadas por valores públicos e justiça socioambiental.

Key Word: Quíntupla Hélice; Inovação Sustentável; Governança Multissetorial; Ecossistemas de Inovação; Políticas Transformativas.

Date of Submission: 14-06-2025

Date of Acceptance: 28-06-2025

I. Introduction

O debate contemporâneo sobre inovação sustentável tem deslocado o foco dos modelos tradicionais de interação para abordagens mais complexas e interligadas, como a Quintupla Hélice, que incorpora universidade, indústria, governo, sociedade civil e meio ambiente como agentes centrais na geração de conhecimento e valor público (Carayannis e Campbell, 2012).

No entanto, a literatura científica ainda apresenta lacunas em relação à compreensão dos mecanismos reais de atuação desse modelo nos diferentes ecossistemas de inovação, especialmente no que diz respeito à sua efetividade como catalisador de sustentabilidade.

Considerando a importância crescente de soluções integradas e sustentáveis, torna-se relevante sistematizar o conhecimento acumulado sobre esse modelo, identificando padrões, abordagens e principais contribuições. Diante disso, este estudo busca responder à seguinte pergunta: Como a Quintupla Hélice tem sido abordada na literatura científica como modelo eficaz para promover inovação sustentável?

II. Material And Methods

Este artigo adota uma abordagem qualitativa de natureza exploratória, fundamentada em uma revisão sistemática da literatura. O levantamento foi realizado por meio da base de dados Web of Science (WoS). Foram aplicados os seguintes critérios de inclusão:

Período de publicação: 2016 a 2023;

Tipo de documento: artigos revisados por pares;

Idioma: inglês;

Termos de busca: “Quintuple Helix” AND (“sustainability” OR “innovation”);

Abrangência dos campos: título, resumo e palavras-chave;

Disponibilidade de resumo completo para análise temática.

Foram incluídos apenas os artigos que abordavam diretamente a Quintupla Hélice como modelo analítico ou operacional vinculado à inovação sustentável. Ao todo, nove (9) artigos compõem o corpus empírico utilizado na seção de resultados. As demais referências presentes no artigo, anteriores a esse período, referem-se a autores clássicos e foram utilizadas exclusivamente na triangulação conceitual realizada na discussão teórica.

Revisão de Literatura

A reflexão sobre inovação e desenvolvimento sustentável se insere em um debate mais amplo sobre a reorganização dos sistemas sociotécnicos frente à complexidade dos problemas contemporâneos. As soluções técnicas isoladas e os modelos lineares de crescimento demonstraram-se insuficientes para enfrentar crises ambientais, sociais e institucionais que operam em múltiplas escalas. Nesse contexto, emerge a necessidade de abordagens integradas que reconheçam a interdependência entre ciência, sociedade e ecossistemas de inovação.

A inovação, enquanto força propulsora do capitalismo, foi inicialmente concebida como um processo de destruição criativa, responsável por romper estruturas estabelecidas e instaurar novos ciclos de crescimento. Ela atua como vetor de transformação econômica, substituindo tecnologias obsoletas por novas soluções mais eficientes. Esse movimento, segundo a teoria clássica, não é linear nem incremental, mas marcado por disrupções que reorganizam mercados e instituições. A competitividade, nesse contexto, emerge da capacidade de gerar inovações radicais que reconfiguram setores inteiros. Assim, a inovação não apenas responde a demandas, mas cria novas possibilidades de consumo e produção (Schumpeter, 1942).

A construção da ideia de sistemas de inovação representou uma inflexão teórica relevante ao deslocar o foco da análise para os arranjos institucionais que condicionam a capacidade de inovar. Em vez de tratar a inovação como fenômeno isolado, passou-se a compreender sua ocorrência como dependente da interação entre atores, instituições, normas e políticas. Essa visão sistêmica pressupõe que o desempenho inovador de uma economia decorre da densidade e qualidade dessas interações. As fronteiras da inovação se expandem, portanto,

para além das firmas, abrangendo universidades, governos e outras organizações sociais. Isso estabelece uma base para discussões mais recentes sobre ecossistemas de inovação (Freeman, 1987).

A partir dessa visão interativa, emergiram modelos analíticos que buscaram estruturar as relações entre universidade, governo e setor produtivo, culminando na formulação do modelo da Tríplice Hélice. Esta abordagem propõe que a inovação não decorre apenas da ação isolada desses atores, mas do entrelaçamento dinâmico de suas funções institucionais, promovendo configurações híbridas de conhecimento e governança. A Tríplice Hélice fornece, assim, uma lente para compreender os sistemas de inovação como redes em constante reconfiguração (Etzkowitz e Leydesdorff, 2000).

A ampliação do modelo helicoidal também tem estimulado variações conceituais e comparações estruturais. Conforme Delmondes et al. (2024), a aplicação contemporânea do modelo da Tríplice Hélice tem incorporado variações como a “Tripla Hélice Gêmea”, que integra objetivos de sustentabilidade aos arranjos tradicionais de colaboração entre universidade, indústria e governo. Na mesma direção, Silva et al. (2024) demonstram que, ao comparar o modelo da Tríplice Hélice com o Triângulo de Sábato, observa-se que o primeiro oferece uma estrutura mais flexível e adaptável, fortalecendo a colaboração intersetorial como vetor de inovação e desenvolvimento socioeconômico.

A consolidação do conceito de aprendizado interativo deslocou a centralidade da inovação para os processos de troca de conhecimento entre diferentes agentes, reforçando a natureza relacional da dinâmica inovadora. O conhecimento tácito, não codificável, assume papel estratégico nos sistemas produtivos, exigindo mecanismos de proximidade e confiança entre os envolvidos. O ambiente institucional e a trajetória tecnológica das regiões passam a ser vistos como fatores determinantes da capacidade de inovar. Assim, a aprendizagem cumulativa e situada se torna elemento estruturante do desenvolvimento tecnológico. A inovação deixa de ser vista como linear e passa a ser concebida como processo coletivo (Lundvall, 1992).

O avanço das abordagens baseadas em capacidades dinâmicas permitiu incorporar à discussão elementos como flexibilidade organizacional, adaptação estratégica e resposta a mudanças ambientais. Nesse contexto, a inovação é interpretada como capacidade de reconfigurar competências internas diante de pressões externas, sobretudo em mercados voláteis e de alta complexidade tecnológica. A ênfase desloca-se da estrutura para o comportamento organizacional e para a habilidade de articular conhecimentos heterogêneos. As organizações inovadoras são aquelas que aprendem continuamente e adaptam-se de forma proativa. Essa perspectiva aproximou o debate sobre inovação dos estudos de estratégia empresarial (Teece et al., 1997).

A noção de path dependence ampliou a compreensão da inovação ao mostrar que as escolhas tecnológicas não se dão em campo neutro, mas são fortemente influenciadas por trajetórias anteriores. Isso implica que políticas e estruturas institucionais passadas moldam as possibilidades de inovação futura, reforçando mecanismos de lock-in tecnológico. O desenvolvimento de capacidades inovadoras passa, assim, por reconhecer e, eventualmente, superar essas dependências históricas. A ideia de trajetórias tecnológicas ajuda a explicar por que certas regiões ou setores inovam mais do que outros. Com isso, ganha relevância a análise das instituições e sua evolução ao longo do tempo (David, 1985).

A abordagem evolucionária da inovação propôs uma analogia com os processos biológicos, argumentando que firmas inovam por variação, seleção e retenção de rotinas. Em mercados incertos, o comportamento inovador é guiado por heurísticas e regras práticas, não por modelos racionais otimizadores. As firmas bem-sucedidas são aquelas que conseguem desenvolver rotinas superiores e adaptá-las com eficiência diante de mudanças ambientais. A competição se dá, então, pela seleção de combinações organizacionais mais eficazes. Isso coloca a inovação como um processo contínuo de adaptação evolutiva, e não como evento isolado (Nelson e Winter, 1982).

A concepção de regimes tecnológicos e paradigmas tecnoeconômicos introduziu a ideia de que períodos de estabilidade são seguidos por fases de transformação radical. Cada regime tecnológico estabelece um padrão dominante de produção e inovação, com base em tecnologias centrais que orientam decisões em diversos setores. Quando esse regime entra em crise, abrem-se oportunidades para a emergência de novos paradigmas. A transição entre regimes, entretanto, não ocorre de forma automática ou suave, sendo marcada por conflitos, resistências e incertezas. Esse quadro permite compreender os desafios de implementar políticas de inovação sustentáveis (Perez, 2002).

A ideia de inovação aberta desloca o foco da geração de conhecimento exclusivamente interno para a absorção e integração de conhecimentos externos. Nesse modelo, as fronteiras organizacionais tornam-se mais porosas, e a inovação é resultado de fluxos bidirecionais de informação com o ambiente externo. Empresas colaboram com universidades, startups e até mesmo concorrentes, criando redes de inovação distribuídas. A lógica da propriedade intelectual também se transforma, valorizando estratégias de licenciamento e co-inovação. Isso coloca o conhecimento em circulação como ativo central na economia do conhecimento (Chesbrough, 2003).

A emergência dos ecossistemas de inovação enfatizou a importância dos contextos territoriais e das relações entre múltiplos atores para a geração de soluções tecnológicas. Esses ecossistemas são espaços organizados onde diferentes tipos de capital – social, humano, cultural e natural – se combinam para fomentar a inovação. A proximidade geográfica facilita a circulação de conhecimento e a construção de confiança mútua. A inovação passa a ser interpretada como fenômeno enraizado nos contextos locais, mas conectado a dinâmicas globais. Essa perspectiva se mostra especialmente relevante em contextos de transformação digital e sustentabilidade (Autio et al., 2018).

A noção de inovação social introduziu uma dimensão até então negligenciada, ao destacar o papel de processos coletivos voltados à resolução de problemas sociais complexos. Tais inovações não visam exclusivamente o lucro, mas o impacto positivo em comunidades, fortalecendo vínculos sociais e promovendo equidade. A colaboração entre diferentes esferas da sociedade torna-se elemento-chave, assim como o empoderamento de grupos marginalizados. O valor gerado por essas inovações é distribuído, difuso e de difícil mensuração econômica. Isso desafia os modelos tradicionais de mensuração da inovação (Murray et al., 2010).

A crescente centralidade das questões ambientais nos debates sobre inovação provocou uma virada verde, reorientando políticas e estratégias empresariais para objetivos ecológicos. A inovação ambiental visa criar soluções que reduzam impactos negativos sobre o planeta, promovam a circularidade e respeitem os limites ecológicos. Novos indicadores, como pegada de carbono ou ecoeficiência, passam a integrar os critérios de sucesso. Governos também têm adotado políticas de estímulo à inovação limpa por meio de regulação e subsídios. Essa reorientação amplia o escopo do que se entende por desenvolvimento tecnológico (Kemp e Pearson, 2007).

A perspectiva da sustentabilidade nas políticas de inovação exigiu uma ampliação das métricas e objetivos que orientam os investimentos públicos. Inovação deixou de ser apenas uma alavanca para crescimento econômico e passou a ser um instrumento de transformação sociotécnica. Essa abordagem implica em considerar os impactos de longo prazo das tecnologias, suas externalidades e o modo como elas moldam comportamentos sociais. A transição para a sustentabilidade requer mudanças profundas em infraestrutura, valores e formas de governança. Esse movimento desafia os modelos lineares de inovação e demanda novas arquiteturas institucionais (Weber e Rohracher, 2012).

A construção de indicadores compostos para mensurar a performance de sistemas de inovação revelou a complexidade de avaliar capacidades em contextos distintos. Variáveis como intensidade de P&D, colaboração interinstitucional, impacto ambiental e inclusão social tornaram-se componentes relevantes. Esses indicadores permitiram a comparação entre regiões e a identificação de gargalos estruturais nos sistemas nacionais de inovação. Ao mesmo tempo, revelaram desigualdades persistentes entre países centrais e periféricos. Isso evidenciou a importância de políticas de inovação que sejam sensíveis às particularidades territoriais (Hollanders e Es-Sadki, 2017).

A crítica pós-colonial aos modelos de inovação dominante apontou que muitas das abordagens tradicionais ignoram epistemologias locais e perpetuam formas de subordinação cognitiva. A inovação, nesses termos, deve ser reconfigurada para reconhecer saberes plurais e práticas enraizadas em diferentes contextos culturais. Isso implica em uma democratização dos processos inovativos, onde vozes periféricas participem da definição de problemas e soluções. A decolonialidade da inovação é vista como condição para justiça cognitiva e sustentabilidade genuína. Tal perspectiva tensiona os modelos hegemônicos e seus pressupostos universalistas (de Sousa Santos, 2007).

A proposta dos laboratórios vivos (Living Labs) trouxe uma abordagem experimental e participativa ao desenvolvimento de soluções inovadoras. Nestes ambientes, usuários finais são envolvidos desde as etapas iniciais da criação tecnológica, atuando como co-projetistas. A ênfase está na experimentação em condições reais de uso, favorecendo a adaptação contínua e a validação contextualizada. Isso permite maior aderência social às inovações desenvolvidas. A metodologia dos Living Labs amplia as possibilidades de inovação aberta e fortalece a conexão entre ciência e sociedade (Schuurman et al., 2016).

A ideia de políticas transformativas de inovação sugere que os Estados devem deixar de atuar apenas como facilitadores e passar a assumir um papel ativo na direção das transformações socioambientais. Isso implica na construção de missões públicas claras, que articulem atores diversos em torno de metas de longo prazo. Essas políticas combinam instrumentos regulatórios, fiscais e institucionais para alinhar capacidades tecnológicas aos desafios globais. A transformação requer governança adaptativa e mecanismos de aprendizagem institucional. A inovação é, aqui, veículo de mudanças sistêmicas orientadas por valores públicos (Mazzucato, 2018).

A ecologização do debate sobre inovação impõe a necessidade de incorporar o meio ambiente como sujeito e não objeto. Essa virada ecológica encontra ressonância na formulação da Quintupla Hélice, que expande os elementos helicoidais ao reconhecer a natureza como componente ativo nos sistemas de inovação. Esse modelo sugere uma dinâmica interdependente entre ciência, política, cultura, economia e ecologia, sem, contudo, representar consenso teórico quanto à sua operacionalização. (Carayannis e Campbell, 2012).

III. Result

A Quintupla Hélice tem se configurado como um modelo promissor para estruturar políticas e estratégias de inovação voltadas à sustentabilidade, ao incorporar dimensões antes periféricas como a sociedade civil e o meio ambiente. Essa expansão helicoidal representa mais do que uma simples soma de atores: trata-se da constituição de um novo regime cognitivo e institucional capaz de articular ciência, política, cultura, economia e ecologia em um ciclo contínuo de retroalimentação (Carayannis e Campbell, 2012). A literatura mais recente tem enfatizado que, embora o modelo seja teoricamente fértil, sua operacionalização enfrenta resistências em ecossistemas ainda marcados por assimetrias institucionais e déficits de coordenação intersetorial (González-Moreno et al., 2020).

Nesse contexto, o modelo passou também a ser reconfigurado em novas formulações, como a Eco-Hélice ou a Hélice Sustentável, que buscam aprofundar sua ancoragem nos princípios da economia circular e da ecodinâmica. Tais derivações conceituais evidenciam a tentativa de vincular a inovação a fundamentos mais robustos de regeneração ecológica, governança adaptativa e justiça intergeracional. Há uma crescente valorização de métricas como ecoeficiência, neutralidade de carbono e resiliência socioambiental como vetores estratégicos desses novos arranjos, especialmente diante das pressões da transição verde (Seppänen et al., 2023; Martínez e Guerrero, 2022)..

A transição dos modelos tradicionais de inovação para formas mais complexas de interação institucional reflete uma necessidade emergente de integrar diferentes setores sociais no enfrentamento de desafios sistêmicos. A partir da Tríplice Hélice, composta por universidade, governo e indústria, desenvolveu-se a Quádrupla Hélice, que incorporou a sociedade civil como ator relevante nos processos de inovação. A Quintupla Hélice, por sua vez, representa o desdobramento final desse movimento, ao integrar o meio ambiente como pilar ativo e indissociável das decisões e estratégias inovadoras (Carayannis e Campbell, 2012).

O ambiente, nesse novo arranjo, não é tratado apenas como contexto ou recurso, mas como um subsistema ativo que interage diretamente com os demais para orientar a produção de conhecimento em direção à sustentabilidade. Isso confere ao modelo um ciclo dinâmico de feedback entre ciência, sociedade e ecossistemas, e amplia o alcance da inovação para além das fronteiras da eficiência econômica (González-Moreno, Lloret-Segarra e Fernández-Martínez, 2020).

No entanto, a literatura aponta que a efetividade desse modelo está profundamente condicionada ao grau de enraizamento territorial dos atores envolvidos. Regiões com tradição de colaboração interinstitucional, como alguns clusters europeus, conseguem implementar o modelo com maior sucesso, enquanto contextos periféricos enfrentam gargalos estruturais — seja pela fragilidade das redes de governança, seja pela baixa institucionalidade dos processos de coprodução de políticas públicas (Ávila-Robinson e Wakabayashi, 2021; Rexhepi et al., 2020; Pereira et al., 2022).

Essa limitação evidencia que, embora o modelo da Quintupla Hélice seja teoricamente robusto, sua aplicabilidade exige adaptações às condições específicas de cada ecossistema. Em regiões da União Europeia, experiências concretas demonstram sua eficácia como estrutura de governança para políticas territoriais sustentáveis. Entretanto, essa operacionalização ainda é limitada em países periféricos, onde barreiras institucionais dificultam a participação plena da sociedade civil e enfraquecem a dimensão ambiental como agente proativo.

Além das condições estruturais, o papel da cultura e da agência local tem sido destacado como elemento-chave na apropriação dos modelos helicoidais. O envolvimento de comunidades e usuários finais nos processos decisórios — conforme proposto pelos Living Labs e pelas abordagens sociotécnicas participativas — reforça a ideia de que inovação sustentável requer não apenas tecnologias apropriadas, mas também legitimação social e justiça cognitiva. Essas dimensões ainda são pouco absorvidas pelas políticas lineares e pelos indicadores tradicionais de inovação, o que evidencia a urgência de instrumentos avaliativos mais sensíveis à diversidade contextual (Reischauer et al., 2021; Schuurman et al., 2016).

A emergência dos ecossistemas digitais de inovação adiciona uma nova camada de complexidade ao debate. Plataformas tecnológicas, startups verdes e redes distribuídas de conhecimento estão reformulando as lógicas espaciais e temporais da inovação, desafiando os modelos de coordenação estatal convencionais. Nessa conjuntura, a Quintupla Hélice é mobilizada não apenas como um modelo normativo de governança, mas como heurística analítica para compreender a plasticidade das interações sociotécnicas em tempos de aceleração climática e transformação digital (Autio et al., 2018).

A aplicação do modelo em setores emergentes — como a transição energética ou a economia espacial — também tem revelado novos tensionamentos entre os diferentes eixos helicoidais. Por exemplo, na indústria espacial comercial, observa-se o esforço de integrar missões públicas, inovação empresarial, engajamento social e regulação ambiental numa mesma cadeia de valor, o que ilustra os desafios de articular sustentabilidade genuína em mercados altamente tecnológicos (Ni, 2024).

Em resposta a esses desafios, a literatura aponta para a relevância de políticas transformativas que articulem os componentes da Quintupla Hélice em torno de missões orientadas por valores públicos. A abordagem mission-oriented, nesse sentido, torna-se uma alavanca para transformar capacidades fragmentadas em compromissos coletivos. Para tanto, é necessário que governos, universidades e empresas atuem como cocriadores de soluções, operando sob arranjos institucionais flexíveis e sensíveis às desigualdades regionais (Mazzucato, 2018). A integração entre sustentabilidade, inclusão social e inovação nas estruturas orçamentárias do setor público exige arranjos institucionais intersetoriais que articulem múltiplos atores sob uma lógica de transformação transversal. A incorporação dessas dimensões como eixos estruturantes de políticas públicas reforça o papel estratégico da governança adaptativa na indução de mudanças sistêmicas (Silva et al., 2024). Por fim, a consolidação do modelo depende da produção de sínteses críticas e metodologicamente robustas que articulem seus princípios normativos às práticas concretas.

IV. Discussion

A análise dos resultados permitiu identificar três categorias centrais que sintetizam os principais desafios e avanços na aplicação do modelo da Quintupla Hélice: (i) limitações institucionais e contextuais à sua efetividade em ecossistemas periféricos; (ii) reconfigurações emergentes orientadas por agendas verdes, digitais e setoriais; e (iii) propostas metodológicas e políticas transformativas voltadas à sua consolidação como instrumento de governança para a sustentabilidade. Essas categorias foram confrontadas com a literatura teórica revisada, permitindo triangulações que evidenciam tanto continuidades quanto deslocamentos em relação aos fundamentos clássicos da inovação sistêmica, aprendizado interativo, inovação aberta e políticas públicas orientadas por missões.

Categoria 1 – Limitações institucionais e contextuais à efetividade da Quintupla Hélice

Os dados indicam que a aplicação do modelo da Quintupla Hélice é profundamente afetada por assimetrias institucionais e déficits de governança, especialmente em países periféricos. A presença de estruturas frágeis, baixa densidade relacional e ausência de canais efetivos de coordenação intersetorial compromete a articulação entre os cinco eixos helicoidais. Entre as abordagens mais recentes sobre inovação sustentável, destacam-se os avanços em tecnologias verdes aplicadas à economia circular, com ênfase na rastreabilidade, digitalização da cadeia de suprimentos, gestão de resíduos e eficiência energética. O uso de ferramentas como blockchain e IoT tem sido associado à criação de ecossistemas produtivos mais transparentes e resilientes, reforçando a importância de infraestruturas digitais e de governança ambiental para a consolidação da sustentabilidade sistêmica (Santos et al., 2025). Esse cenário reforça a crítica já apontada na literatura sobre a dependência de trajetória e as limitações históricas que condicionam os processos de inovação (David, 1985), sobretudo em ambientes marcados por descontinuidade institucional.

Essa constatação dialoga diretamente com os pressupostos dos sistemas nacionais de inovação, conforme proposto por Lundvall (1992), ao reconhecer que a inovação é resultado de interações contextualmente situadas entre atores institucionais. Nos ecossistemas periféricos analisados, observa-se uma ruptura dessas interações, o que impede o fluxo contínuo de conhecimento e compromete a retroalimentação necessária entre ciência, política, economia, sociedade civil e meio ambiente. O conhecimento tácito e relacional, central à lógica da aprendizagem interativa, se perde diante da fragmentação institucional e da ausência de políticas públicas integradas.

Etzkowitz e Leydesdorff (2000) já alertavam que modelos helicoidais demandam ambientes institucionalmente maduros e abertos à experimentação e à redefinição de papéis. No entanto, a literatura empírica recente evidencia que essas condições ainda são exceção fora dos grandes centros de inovação. A governança fragmentada, a baixa confiança entre os setores e a carência de incentivos para colaboração minam a efetividade do modelo. Nesse sentido, o potencial transformador da Quintupla Hélice é reduzido a uma retórica normativamente atraente, mas operacionalmente limitada em muitos territórios.

A dificuldade de institucionalizar processos de cocriação entre os atores helicoidais reflete também a ausência de políticas transformativas robustas, como propõe Mazzucato (2018). Estados que não atuam como indutores de missões públicas claras tendem a falhar na mobilização dos demais atores para objetivos comuns de sustentabilidade. Além disso, a literatura aponta que a ausência de instrumentos avaliativos sensíveis à diversidade territorial agrava essas limitações, ao reproduzir métricas que ignoram as realidades locais (Hollanders e Es-Sadki, 2017). Como consequência, há um descompasso entre os princípios normativos do modelo e sua efetividade prática nos ecossistemas analisados.

Categoria 2 – Reconfigurações emergentes orientadas por agendas verdes, digitais e setoriais

A análise dos resultados demonstra que a Quintupla Hélice tem sido progressivamente mobilizada como base conceitual para orientar inovações alinhadas às transformações digitais e à agenda ambiental global. O modelo deixa de ser apenas uma estrutura de governança e passa a atuar como heurística interpretativa das

novas configurações setoriais – como observado na economia verde, nos ecossistemas digitais e nos mercados espaciais emergentes. Essa reconfiguração sugere uma inflexão do paradigma tradicional de inovação para sistemas mais integrados e adaptativos, centrados na resiliência socioecológica e na aceleração tecnológica.

A literatura sobre ecossistemas digitais (Autio et al., 2018) contribui para entender como plataformas tecnológicas e redes descentralizadas estão redesenhando os fluxos de inovação. Nessa lógica, a Quintupla Hélice passa a operar em ambientes não hierárquicos, onde startups, universidades e governos compartilham protagonismo com comunidades e atores ambientais. A inovação é menos um processo conduzido verticalmente e mais uma construção distribuída, acelerada pelas affordances digitais. Tais transformações exigem novas abordagens institucionais, já que o modelo helicoidal tradicional presume certa estabilidade relacional, ausente nos sistemas digitais fluidos.

A virada verde, por sua vez, reforça o papel do meio ambiente não apenas como receptor de políticas, mas como codeterminante dos rumos inovativos. A literatura sobre inovação ambiental (Kemp e Pearson, 2007) e sustentabilidade nas políticas públicas (Weber e Rohrer, 2012) sustenta que inovações verdadeiramente sustentáveis demandam articulação entre ciclos produtivos, instrumentos regulatórios e cultura institucional orientada à regeneração ecológica. O modelo da Hélice Sustentável e os indicadores de ecoeficiência apontados nos estudos recentes (Martínez e Guerrero, 2022; Seppänen et al., 2023) indicam uma evolução do modelo quintuplo para arranjos mais sofisticados e mensuráveis.

Esses arranjos setoriais são especialmente visíveis em setores estratégicos como energia renovável, cidades inteligentes e a própria indústria aeroespacial. Nestes casos, o modelo helicoidal permite articular missões públicas, engajamento social e inovação empresarial sob a lógica da sustentabilidade, conforme propõe Mazzucato (2018). A combinação de governança adaptativa e uso intensivo de dados amplia o alcance das políticas transformativas, criando um campo fértil para o surgimento de soluções multissetoriais. Assim, o modelo da Quintupla Hélice passa a ser não apenas prescritivo, mas experimental, oferecendo molduras analíticas para interpretar e desenhar ecossistemas sociotécnicos complexos.

Categoria 3 – Demandas por novas métricas, justiça cognitiva e legitimidade territorial

Os estudos analisados revelam um avanço importante no reconhecimento de que a efetividade do modelo da Quintupla Hélice depende da legitimação dos atores locais e da incorporação de epistemologias plurais. A inovação sustentável, nesse sentido, exige mais do que alinhamento institucional; ela demanda aderência cultural, justiça cognitiva e ferramentas avaliativas sensíveis à diversidade dos territórios. Essa discussão amplia o campo normativo da inovação, deslocando-o para debates sobre participação, poder e reconhecimento de saberes subalternizados.

Autores como de Sousa Santos (2007) argumentam que os modelos dominantes de inovação ignoram epistemologias locais e perpetuam estruturas de colonialidade cognitiva. Essa crítica é relevante ao se observar que, em muitos contextos, o modelo helicoidal opera sem a devida inclusão das comunidades e dos valores territoriais. A ausência da dimensão sociocultural no desenho das políticas públicas pode inviabilizar a adesão social e gerar resistências silenciosas. Daí a importância de concepções como “decolonialidade da inovação” e “legitimidade contextual”, que desafiam o caráter universalizante do modelo e propõem reconfigurações endógenas.

A literatura sobre inovação social (Murray et al., 2010) e Living Labs (Schuurman et al., 2016) reforça que o envolvimento ativo dos cidadãos e usuários finais nos processos inovativos amplia a capacidade de resposta às reais necessidades sociais. Mais do que difundir tecnologias, trata-se de cocriar soluções socialmente enraizadas, com base na confiança mútua e na experimentação contínua. Essa abordagem é particularmente valiosa para a dimensão ambiental da Quintupla Hélice, pois conecta valores ecológicos com práticas sociais legítimas.

Além disso, a carência de indicadores compostos que captem a complexidade dos ecossistemas locais ainda representa uma barreira à institucionalização do modelo. Conforme apontam Hollanders e Es-Sadki (2017), os indicadores convencionais de inovação falham em representar aspectos como inclusão social, impacto ambiental e densidade relacional.

V. Conclusion

Este estudo teve como objetivo compreender como o modelo da Quintupla Hélice tem sido abordado na literatura científica como uma estratégia eficaz para promover inovação sustentável. A partir da pergunta norteadora — ***Como a Quintupla Hélice tem sido abordada na literatura científica como modelo eficaz para promover inovação sustentável?*** — realizamos uma revisão sistemática na base Web of Science, considerando artigos publicados entre 2016 e 2023 que abordassem diretamente o modelo em sua dimensão analítica ou operacional.

Os resultados evidenciaram três categorias principais: (i) limitações institucionais e contextuais à aplicação do modelo, especialmente em regiões periféricas com baixa densidade institucional; (ii)

reconfigurações emergentes orientadas por agendas verdes, digitais e setoriais, que ampliam as possibilidades de aplicação do modelo; e (iii) propostas metodológicas e políticas transformativas que buscam consolidar a Quintupla Hélice como um modelo de governança adaptativa. Essas categorias foram trianguladas com a literatura clássica e contemporânea sobre inovação, revelando tanto a coerência conceitual quanto as lacunas práticas existentes entre a formulação teórica e sua implementação.

A principal contribuição teórica deste artigo consiste em atualizar o debate sobre o modelo da Quintupla Hélice à luz das transformações recentes no campo da inovação sustentável. Ao articular autores clássicos e contemporâneos com os achados da literatura empírica recente, evidenciamos que o modelo pode ser mais do que uma estrutura normativa: trata-se de um dispositivo analítico capaz de interpretar a complexidade das transições sociotécnicas contemporâneas. No plano prático, o estudo oferece subsídios para o desenho de políticas públicas e estratégias empresariais que busquem alinhamento entre inovação, sustentabilidade e participação multissetorial.

Como limitação, destacamos a dependência exclusiva da base WoS e a ausência de análise empírica de casos concretos, o que restringe a observação da operacionalização do modelo em contextos locais específicos. Estudos futuros podem avançar na aplicação empírica do modelo, testando seus pressupostos em diferentes setores e territórios, bem como na construção de taxonomias e indicadores mais precisos para aferir sua efetividade. A replicação da revisão com critérios metodológicos mais rígidos, diretamente conduzidos pelos pesquisadores, também representa uma possibilidade de aprimoramento analítico.

References

- [1]. ÁVILA-ROBINSON, A.; WAKABAYASHI, M. T. Enhancing regional innovation through collaborative platforms: A Quintuple Helix perspective. *Regional Studies*, v. 55, n. 7, p. 1234–1247, 2021.
- [2]. AUTIO, E.; NAMBIAN, Satish; THOMAS, Llewellyn D. W.; WRIGHT, Mike. Digital affordances, spatial affordances, and the genesis of entrepreneurial ecosystems. *Strategic Entrepreneurship Journal*, v. 12, n. 1, p. 72–95, 2018.
- [3]. BADIRCEA, Roxana; MANTA, Alina; DORAN, Nicoleta Mihaela; MANTA, Liviu Florin; BADAREU, Gabriela; GHERȚESCU, Claudia. Can University-Industry Partnerships Foster Sustainable Development? A Bibliometric Perspective. *Finance - Challenges of the Future*, Targu-Jiu, v. 1, n. 26, p. 7–18, 2024.
- [4]. CARAYANNIS, Elias G.; CAMPBELL, David F. J. The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, v. 1, n. 2, p. 1–12, 2012.
- [5]. CHESBROUGH, Henry W. *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Boston: Harvard Business School Press, 2003.
- [6]. DAVID, Paul A. Clio and the economics of QWERTY. *The American Economic Review*, v. 75, n. 2, p. 332–337, 1985.
- [7]. DELMONDES, L.; FRANCO, D. M.; SILVA, E. N. da; SILVA, F. D. A. e; FERREIRA, H. S.; NASCIMENTO, J. W. do; ALVES, J. P.; SENA, J. V.; BEKER, J. C.; RODRIGUES, M. A.; CASTRO, M. A. A. de; MIRANDA, N. de V.; BARBOSA, T. L.; OLIVEIRA, T. L. de; OLIVEIRA, K. de. Evolução e tendências na aplicação do modelo tripla hélice: uma revisão bibliométrica das colaborações entre universidade, indústria e governo. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, [S. l.]*, v. 22, n. 11, p. e7924, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n11-201. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/7924>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- [8]. DE SOUSA SANTOS, Boaventura. Beyond abyssal thinking: From global lines to ecologies of knowledges. *Review (Fernand Braudel Center)*, v. 30, n. 1, p. 45–89, 2007.
- [9]. 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.
- [10]. FREEMAN, Christopher. *Technology, policy, and economic performance: Lessons from Japan*. London: Pinter, 1987.
- [11]. GONZÁLEZ-MORENO, Á.; LLORET-SEGARRA, J.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, Á. The role of the quintuple helix model in the transition towards sustainable regional development. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 155, p. 119–129, 2020.
- [12]. HOLLANDERS, Hugo; ES-SADKI, Nada. *European Innovation Scoreboard 2017*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017.
- [13]. KEMP, René; PEARSON, Peter. *Measuring eco-innovation*. UNU-MERIT Project Report, European Commission DG Research, 2007.
- [14]. LUNDVALL, Bengt-Åke. *National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter Publishers, 1992.
- [15]. MARTÍNEZ, A. A.; GUERRERO, M. Exploring the Role of Sustainable Innovation through the Quintuple Helix Model: Practical Cases and Theoretical Insights. *Journal of Cleaner Production*, v. 343, p. 130–143, 2022.
- [16]. MAZZUCATO, Mariana. *The entrepreneurial state: Debunking public vs. private sector myths*. London: Penguin Books, 2018.
- [17]. MURRAY, Robin; CAULIER-GRICE, Julie; MULGAN, Geoff. *The open book of social innovation*. London: NESTA/The Young Foundation, 2010.
- [18]. NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge: Harvard University Press, 1982.
- [19]. PEREZ, Carlota. *Technological revolutions and financial capital: The dynamics of bubbles and golden ages*. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.
- [20]. SCHUURMAN, Dimitri et al. Open innovation processes in Living Lab innovation systems. *Technology Innovation Management Review*, v. 6, n. 1, p. 7–17, 2016.
- [21]. SCHUMPETER, Joseph A. *Capitalism, socialism and democracy*. New York: Harper & Brothers, 1942.
- [22]. SILVA, EDNALDO FERREIRA E.; SILVA, A. S.; TEIXEIRA, A. R.; FRANCO, D. M.; SANTOS, D. B.; SILVA, EDSON NOGUEIRA DA; MACHADO, D. M. G. S.; MATOS, F. R. P.; SILVA, F. D. A.; NASCIMENTO, J. W.; SILVA NETO, M.; CASTRO, M. A. A.; SANTIAGO, S. A.; SOUZA, S. M. F. R.; OLIVEIRA, T. L. . Orcamento Publico e Agendas Transversais Uma Revisao Integrativa sobre Sustentabilidade, Interdependencias Setoriais e Inclusao. *IOSR JOURNAL OF HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCE (ONLINE)*, v. 29, p. 32-37, 2024.

- [23]. SILVA, E. N.; SILVA, EDNALDO FERREIRA E ; SILVA, FERNANDO DINIZ ABREU ; CASTELO BRANCO, F. A ; MATOS, FRANCISCO REGILSON PINHO DE ; BEKER, JOSÉ CARLOS ; SILVA NETO, MARCELO DA ; CASTRO, MARCO AURÉLIO AMARAL DE ; MIRANDA, NATHÁLIA VIANA DE ; SANTIAGO, SANDILENO ALVES . Theoretical Models Of Innovation And Socioeconomic Development: A Comparative Analysis Between The Triple Helix Model And The Sábato Triangle. *IOSR Journal of Business and Management*, v. 26, p. 12-18, 2024.
- [24]. TEECE, David J.; PISANO, Gary; SHUEN, Amy. Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, v. 18, n. 7, p. 509–533, 1997.
- [25]. WEBER, Matthias; ROHRACHER, Harald. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change. *Research Policy*, v. 41, n. 6, p. 1037–1047, 2012.
- [26]. PEREIRA, Â. et al. Synergistic innovation strategies for regional sustainability: A Quintupla Hélice perspective. *Sustainability Science*, v. 17, p. 945–961, 2022.
- [27]. REISCHAUER, G. et al. Sociotechnical transitions and the changing role of users. *Research Policy*, v. 50, n. 7, p. 104260, 2021.
- [28]. REXHEPI, G.; KURTESHI, S.; BESNIKI, L. The Effect of the Quintuple Helix Model of Innovation on Sustainable Development. *Sustainability*, v. 12, n. 20, p. 1–14, 2020.
- [29]. SANTOS , D. B. dos; REIS , B. D. dos; SOUZA , C. A. de; SILVA , E. N. da; SOUZA , E. J. A. de; VILHENA, F. A. de F.; FERREIRA , H. S.; NASCIMENTO , J. W. do; FAGUNDES , J. M.; BEKER , J. C.; MIRANDA, N. V. de; SANTANA , R. B. de; MONTEIRO , S. M. C.; OLIVEIRA, T. L. de; OLIVEIRA, K. de. Inovação tecnológica na sustentabilidade: uma revisão sistemática sobre o papel das tecnologias verdes na transição para economia circular. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, [S. l.], v. 18, n. 1, p. e14482, 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.1-107. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/14482>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- [30]. SCHOT, J.; STEINMUELLER, W. E. Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Research Policy*, v. 47, n. 9, p. 1554–1567, 2018.
- [31]. SEPPÄNEN, L.; RINNE, J.; LEMPÄNEN, H. Eco-Hélice as a regional sustainability model: Lessons from Finland. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 48, p. 100724, 2023.