DA BANCADA AO PROTÓTIPO: INTEGRAÇÃO INTERDEPARTAMENTAL E GOVERNANÇA DE PROJETO EM UM ECOSSISTEMA DE INOVAÇÃO PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

From bench to prototype: interdepartmental integration and project governance in an innovation ecosystem for the energy transition

LAURA ZUCCALÁ GUTIERREZ DE FREITAS
CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

ALINE SACCHI HOMRICH
CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO EDUCACIONAL INACIANA "PADRE SABÓIA DE MEDEIROS"

Comunicação:
O XIV SINGEP foi realizado em conjunto com a 14th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com a SPARK (Society for Promoting Academic Research and Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

DA BANCADA AO PROTÓTIPO: INTEGRAÇÃO INTERDEPARTAMENTAL E GOVERNANÇA DE PROJETO EM UM ECOSSISTEMA DE INOVAÇÃO PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Objetivo do estudo
Analisar como a integração interdepartamental e interinstitucional contribuiu para o avanço bem-sucedido de um projeto de reforma catalítica embarcada de etanol, conduzido em ecossistema de inovação, desde a pesquisa de bancada até o protótipo validado em ambiente relevante (TRL 6).

Relevância/originalidade
Projetos de P&D falham mais por deficiências de gestão que por limitações técnicas. Há escassez de evidências empíricas sobre governança interinstitucional em ecossistemas brasileiros de inovação, sobretudo em iniciativas que atravessam a fase mais arriscada entre pesquisa e aplicação.

Metodologia/abordagem
Estudo de caso único, qualitativo, sobre projeto quadrienal (2021–2025) financiado pelo Programa MOVER. Dados primários de quatro entrevistas semiestruturadas com pesquisadores e gestores, triangulados com análise documental (concept paper, relatórios, registros de marcos) e codificação temática orientada pelo referencial teórico.

Principais resultados
O sucesso apoiou-se em três pilares: governança estruturada em grupos de trabalho com rituais semanais e mensais; uso vivo de Concept Paper e LPPD; e complementaridade de competências entre universidade, institutos, indústria e governo. Alcançou-se TRL 6.

Contribuições teóricas/metodológicas
Articula literatura de ecossistemas de inovação e de gestão de projetos, mostrando como papéis de orquestração, moderação e dependência se traduzem em mecanismos operacionais. Evidencia o Concept Paper/LPPD como ferramenta viva de coordenação interinstitucional, não apenas artefato documental.

Contribuições sociais/para a gestão
Oferece práticas replicáveis para coordenar consórcios universidade-indústria-governo e acelerar a passagem da pesquisa ao protótipo. Subsidia agências de fomento e gestores na estruturação de governança, comunicação e cronogramas em projetos de transição energética de baixo carbono.

Palavras-chave: Ecossistemas de Inovação, Inovação Interinstitucional, Gestão de Projetos de P&D, Mobilidade Sustentável, Transição Energética

From bench to prototype: interdepartmental integration and project governance in an innovation ecosystem for the energy transition

Study purpose
To analyze how interdepartmental and interinstitutional integration contributed to the successful advancement of an onboard ethanol catalytic reforming project, developed within an innovation ecosystem, from bench research to a prototype validated in a relevant environment (TRL 6).

Relevance / originality
R&D projects fail more often from managerial shortcomings than technical limits. Empirical evidence on interinstitutional governance within Brazilian innovation ecosystems remains scarce, particularly for initiatives crossing the riskiest stage between scientific research and industrial application.

Methodology / approach
Qualitative single case study of a four-year project (2021–2025) funded by the Brazilian MOVER programme. Primary data from four semi-structured interviews with researchers and managers were triangulated with documentary analysis (concept paper, reports, milestone records) and theory-driven thematic coding.

Main results
Success rested on three pillars: governance structured into working groups with weekly and monthly rituals; living use of Concept Paper and LPPD; and complementary competences across university, research institutes, industry and government. TRL 6 was reached.

Theoretical / methodological contributions
It connects innovation ecosystem and project management literatures, showing how orchestration, moderation and dependence roles translate into operational mechanisms. It evidences Concept Paper/LPPD as a living interinstitutional coordination tool rather than a mere documentary artefact.

Social / management contributions
It offers replicable practices for coordinating university-industry-government consortia and accelerating the transition from research to prototype. It supports funding agencies and managers in structuring governance, communication and schedules in low-carbon energy transition projects.

Keywords: Innovation Ecosystems, Interinstitutional innovation, R&D project management, Sustainable mobility, Energy Transition

DA BANCADA AO PROTÓTIPO: INTEGRAÇÃO INTERDEPARTAMENTAL E GOVERNANÇA DE PROJETO EM UM ECOSSISTEMA DE INOVAÇÃO PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

1 INTRODUÇÃO

A transição energética e a busca por alternativas sustentáveis para a mobilidade têm exigido projetos de inovação cada vez mais complexos, multidisciplinares e colaborativos (IEA, 2023). No entanto, embora avanços científicos e tecnológicos sejam amplamente estudados, evidencia-se que projetos de P&D falham mais por problemas de gestão do que por limitações técnicas, especialmente quando envolvem múltiplos atores, cronogramas longos, áreas distintas de conhecimento e etapas complexas de integração entre pesquisa e aplicação real (Rapini, 2007). Essa realidade demanda não apenas avanços tecnológicos, mas também modelos de gestão capazes de integrar universidades, indústria e governo em torno de objetivos comuns (Etzkowitz; Leydesdorff, 2000). Assim, compreender como um projeto de inovação avança com sucesso da bancada ao protótipo funcional torna-se tão importante quanto o próprio desenvolvimento tecnológico.

A mobilidade limpa, tema de crescente relevância global e nacional, exige soluções eficientes, sustentáveis e alinhadas às particularidades brasileiras (BRASIL, 2024). Entre essas alternativas, destaca-se o uso do hidrogênio obtido por reforma catalítica do etanol, tecnologia estudada em parceria pela indústria, universidade e governo no âmbito do Programa Rota 2030 (MOVER) (UNI-X, 2020). Esse arranjo colaborativo resulta em um ecossistema de inovação interinstitucional, cujos resultados dependem diretamente da qualidade da governança, da comunicação, da integração entre grupos de trabalho (GTs) e da capacidade de traduzir avanços acadêmicos em soluções aplicáveis ao mercado (Adner, 2012).

Apesar da importância desse tipo de colaboração, ainda há escassez de dados concretos sobre como gerenciar, coordenar e integrar ecossistemas complexos de inovação no Brasil (Desidério; Zilber, 2020), especialmente em projetos que precisam avançar da fase de pesquisa para uma aplicação real, superando a etapa mais arriscada do desenvolvimento (IPEA, 2015; BNDES, 2023). A literatura apresenta lacunas relacionadas à governança interinstitucional, ao uso de ferramentas de gestão, e aos fatores que aumentam a probabilidade de sucesso de projetos inovadores desenvolvidos no Brasil (Ramos; Faria; Lima, 2021). Diante desse cenário, esse estudo busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: *"Como a integração entre departamentos da UNI-X impulsionou o desenvolvimento bem-sucedido de um projeto de inovação tecnológica desde a pesquisa até o protótipo?"*

Buscou-se, portanto, analisar os fatores que contribuíram para o sucesso da integração técnica, organizacional e interinstitucional no projeto estudado, destacando práticas replicáveis que podem aumentar a eficiência e a taxa de sucesso de projetos de P&D no Brasil. Como contribuição principal, o estudo analisa um fluxo operacional que pode auxiliar gestores, pesquisadores e instituições a acelerar a transição entre etapas de pesquisa e aplicação prática, favorecendo a escalada para protótipos, pilotos industriais e soluções de mercado.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho é analisar como a integração entre departamentos da UNI-X e demais agentes do ecossistema de inovação contribuiu para o desenvolvimento bem-sucedido de um projeto de inovação tecnológica direcionado a transição energética limpa.

O foco não está apenas no produto final, mas principalmente no processo de

desenvolvimento do projeto do produto: em como diferentes áreas, instituições e especialidades interagem desde a fase de pesquisa científica até a de prototipagem, e como práticas de gestão podem influenciar esse percurso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ECOSSISTEMAS DE INOVAÇÃO

Nos últimos anos, o conceito de ecossistemas de inovação passou a ocupar um espaço de destaque em discussões acadêmicas, empresariais e nas políticas públicas. A ideia se refere a um ambiente dinâmico e colaborativo, onde diferentes atores (como universidades, centros de pesquisa, startups, empresas consolidadas, órgãos governamentais, investidores e até a sociedade civil) interagem com o objetivo comum de criar soluções inovadoras, gerar conhecimento e transformar ideias em produtos, serviços ou tecnologias com valor para a sociedade (Sebrae, 2021; Adner, 2012).

Diferente do modelo tradicional e linear de inovação, em que a pesquisa nasce dentro de laboratórios e é posteriormente levada ao mercado, os ecossistemas se baseiam em relações interdependentes, contínuas e flexíveis. A colaboração entre os diversos participantes, a disposição para assumir riscos e a troca constante de conhecimentos tornam-se elementos fundamentais para acelerar a inovação e ampliar seu impacto (Chesbrough, 2003).

O conceito foi originalmente inspirado no termo *"business ecosystem*", proposto por Moore (1996), comparava os ambientes de inovação a ecossistemas naturais: organismos diversos coexistindo, competindo e cooperando em busca de sobrevivência e evolução. Nesse modelo, nenhuma organização inova de forma isolada, todas fazem parte de uma rede que compartilha recursos, competências e aprendizados.

Essa ideia foi aprofundada por Adner (2012), ao introduzir o conceito de "*perspectiva ampliada da inovação*". Segundo ele, o sucesso de um novo produto ou tecnologia não depende exclusivamente da empresa que o desenvolve, mas também de todo o conjunto de parceiros responsáveis por viabilizar sua adoção, como fornecedores, reguladores, clientes e desenvolvedores complementares. A falha de qualquer um desses atores pode comprometer a consolidação da inovação, mesmo sendo tecnicamente viável.

Da mesma forma, Chesbrough (2003) sugere que a chamada inovação aberta é um dos pilares dos ecossistemas modernos. Para ele, as organizações precisam aprender a buscar conhecimento além de seus próprios muros, aproveitando ideias externas e compartilhando suas descobertas com o mercado. Essa postura aberta amplia as possibilidades de desenvolvimento tecnológico e acelera o processo de inovação, principalmente em ambientes acadêmicos e produtivos.

No contexto brasileiro, a ideia de ecossistemas de inovação se manifesta em diferentes formatos, como parques tecnológicos, hubs de inovação, redes de incubadoras, agências de inovação universitárias e polos de empreendedorismo. Programas como a MOVER (antigo Rota 2030), EMBRAPII, FINEP, PIPE-FAPESP, entre outras, tem desempenhado um papel importante na tentativa de integrar universidade, empresa e governo, a Tríplice Hélice da Inovação (Etzkowitz; Leydesdorff, 2000).

2.2 GESTÃO DE PROJETOS DE INOVAÇÃO

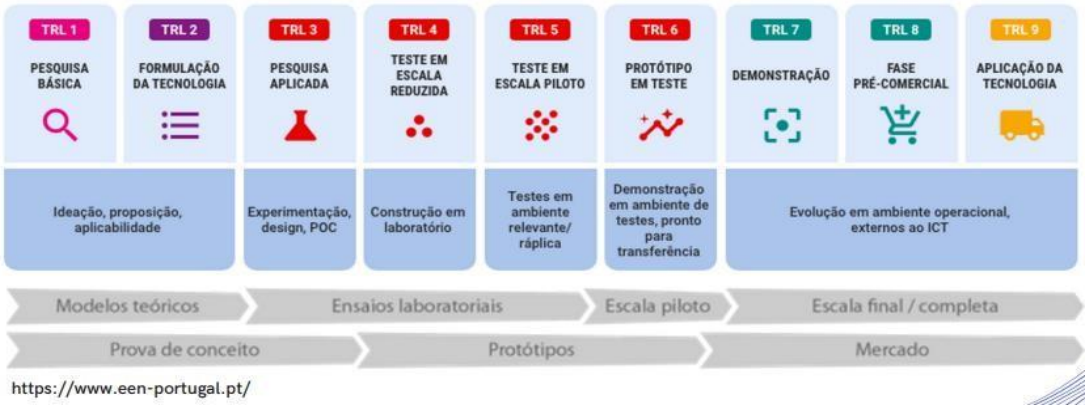
2.2.1 Ciclo de vida de projetos disruptivos

Projetos disruptivos são diferentes dos tradicionais. Por sua própria natureza, eles desafiam os modelos de gestão mais convencionais e exigem abordagens mais flexíveis ao longo do tempo. Ao contrário dos projetos lineares, que seguem etapas bem definidas, os projetos disruptivos precisam de espaço para mudanças constantes. Eles exigem repetição,

experimentação e muita adaptação às incertezas do ambiente de negócios.

Uma escala bem difundida sobre o nível de evolução de um projeto de inovação tecnológica é a *Technological Readiness Level (TRL)*, figura 1.

Figura 1 - Escala TRL



Fonte: Adaptado de Mankins(2009)

A TRL (*Technology Readiness Level*) é uma escala criada pela NASA para medir o nível de maturidade de uma tecnologia, indo desde a pesquisa básica até sua aplicação no mercado. Ela possui nove níveis, que permitem avaliar se uma solução ainda está em fase conceitual, em testes laboratoriais, em prototipagem avançada ou pronta para uso comercial. Trata-se de uma ferramenta amplamente utilizada por empresas, governos e centros de pesquisa para reduzir riscos, organizar etapas de desenvolvimento e orientar decisões de investimento em inovação.

Para gerenciar esse tipo de projeto com eficiência, é preciso adotar uma abordagem ágil. O foco é aprender enquanto executa e estar sempre pronto para se adaptar às mudanças. Métodos como o modelo em espiral e ferramentas como o Lean Startup são bastante usados nesse contexto, pois permitem maior flexibilidade e ajudam a responder rápido às necessidades do mercado (Ries, 2011; Cooper, 2019).

2.2.2 Financiamento e fomento à inovação tecnológica

A inovação tecnológica é um dos pilares mais importantes para o desenvolvimento econômico e social de qualquer país. No Brasil, ao longo dos anos, têm surgido diversas instituições e programas com o objetivo de incentivar e financiar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), ajudando a melhorar a competitividade das empresas e acelerar o avanço tecnológico nacional (MCTI, 2025).

Uma das principais agências nesse cenário é a *Financiadora de Estudos e Projetos* (FINEP). Ela oferece linhas de crédito tanto reembolsáveis quanto não reembolsáveis, apoiando empresas de diferentes portes e setores. O foco da FINEP é acompanhar os projetos desde a fase inicial da pesquisa até o momento em que o produto está pronto para chegar ao mercado. Em 2025, a FINEP anunciou novas condições de financiamento, com taxas mais atrativas e processos simplificados, visando facilitar o acesso das empresas aos recursos necessários para inovar (MCTI, 2025).

Outra instituição importante no apoio à inovação é o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Por meio do programa BNDES Mais Inovação, o banco disponibiliza financiamentos diretos e indiretos para projetos de PD&I, difusão tecnológica, digitalização e até mesmo para a criação de parques tecnológicos. Os valores oferecidos variam conforme o tipo de projeto e a região onde ele será realizado (Agência BNDES, 2025).

Além dessas iniciativas federais, também existem programas estaduais e regionais

que colaboram para fortalecer o ecossistema de inovação no país. O governo federal, por meio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), tem dado sua contribuição. Em 2025, foi anunciado um investimento significativo de R$ 3 bilhões para criar e expandir centros de inovação pelo Brasil. Esses recursos vieram de parcerias entre BNDES e FINEP (MCTI, 2025), com o objetivo de estimular a cooperação entre universidades, empresas e o setor público.

A escala TRL oferece uma forma estruturada e objetiva de identificar e classificar o grau de maturidade de uma tecnologia ao longo do seu desenvolvimento. Isso contribui para a redução de incertezas, pois ao padronizar a compreensão de onde o seu projeto se encontra, permite que todos os envolvidos enxerguem o progresso sob o mesmo referencial, ajudando a definir quais esforços, testes e recursos ainda são necessários para avançar ao próximo estágio, permitindo um planejamento mais realista e estratégico. Além disso, ao organizar as etapas de evolução da tecnologia, a TRL melhora a tomada de decisão, apoia processos de transferência tecnológica e contribui para que projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P,D&I) avancem de forma mais estruturada e eficiente. Quanto menor a incerteza e o risco envolvidos no desenvolvimento do projeto, ou seja, maior o TRL, maior o potencial de financiamento (Quadro 1).

Quadro 1 - Estágios de Desenvolvimento - TRL

Estágios de Desenvolvimento	**TRL**	**Definição**	**Descrição**
Operação	9	Tecnologia em operação conforme o estado em um ambiente real.	O desenvolvimento da tecnologia está concluído. Operação em um ambiente real, sob todas as condições realistas de finalidade.
Comissionamento	8	Tecnologia concluída e qualificada por meio de testes.	Foi comprovado que a tecnologia funciona conforme as condições esperadas, em um ambiente de testes. Uma Revisão Operacional foi concluída com sucesso antes do início dos testes a quente.
Comissionamento	7	Escala completa, demonstração de protótipo em ambiente relevante.	Foi comprovado que o protótipo da tecnologia funciona conforme as condições esperadas, em um ambiente relevante.
Demonstração	6	Engenharia/escala de lote pioneiro, validação de protótipo em ambiente relevante.	Modelos de escala de engenharia representativos testados em ambiente relevante.
Desenvolvimento	5	Escala de laboratório, validação de sistema semelhante em ambiente relevante.	Os componentes tecnológicos básicos foram integrados para que a configuração do sistema semelhante à aplicação final seja validada.
Desenvolvimento	4	Validação de componentes e/ou sistemas em ambiente laboratorial.	Componentes tecnológicos básicos são integrados para estabelecer que as peças funcionarão juntas. Ainda é uma integração relativa de "baixa fidelidade" em comparação com o eventual sistema final.
Pesquisa para teste de viabilidade	3	Estudos analíticos e experimentais e/ou prova de conceito.	A pesquisa e o desenvolvimento são iniciados. Inclui estudos analíticos e estudos em escala laboratorial para validar as previsões analíticas de elementos separados da tecnologia.
Pesquisa aplicada	2	Conceito e/ou aplicação de tecnologia formulada.	Uma vez observados os princípios básicos, aplicações práticas podem ser inventadas. As aplicações são especulativas e podem não ter sido comprovadas por dados ou análises detalhadas ainda, mas podem aproximar-se disso.
Pesquisa básica	1	Princípios básicos observados e relatados.	O nível mais baixo de maturidade tecnológica. A investigação científica começa traduzir-se em P&D aplicados. Exemplos podem incluir estudos básicos das propriedades básicas de uma tecnologia.

Essas ações mostram que o Brasil vem trabalhando cada vez mais para construir um ambiente favorável à inovação. Ao oferecer suporte financeiro e estruturado a empresas e instituições de pesquisa, o país busca desenvolver soluções tecnológicas capazes de responder às demandas sociais e se destacar no cenário global (MCTI, 2025).

2.2.3 Ferramentas de Gestão de Projetos de inovação

No desenvolvimento de projetos de inovação, algumas ferramentas ajudam a organizar decisões, reduzir riscos e garantir que o produto avance de forma mais eficiente e estruturada. Entre as metodologias mais utilizadas estão o *LPPD, o Concept Paper, o DFMA, o DfE e o FMEA*, que são aplicadas em momentos distintos do ciclo de desenvolvimento de um projeto.

O *Lean Product and Process Development* (LPPD) é uma abordagem que organiza o fluxo das decisões desde o início, evitando retrabalhos e alinhando as equipes sobre as expectativas, responsabilidades e critérios técnicos antes das fases de construção física do protótipo. Ele ajuda a transformar a fase inicial do projeto em algo mais claro, colaborativo e previsível (Lean Enterprise Institute, 2022).

Já o *Concept Paper* funciona como um resumo estratégico do projeto. Ele registra o conceito, os requisitos essenciais, as restrições e o que será considerado sucesso, servindo como um acordo inicial entre todos os envolvidos antes de avançar para o detalhamento técnico. Em projetos colaborativos, o *Concept Paper* reduz ambiguidades ao registra de forma clara as expectativas, fundamentos iniciais e o que se espera entregar ao final (Ferro, 2018).

O *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) é normalmente aplicado quando o conceito já está bem desenvolvido. Seu objetivo é facilitar fabricação e montagem, evitando peças desnecessárias, reduzindo custos e antecipando dificuldades de produção. Especialmente relevante pois permite prever gargalos de manufatura antes mesmo da construção do protótipo físico. É uma ferramenta chave na transição entre o projeto conceitual e o detalhado (Boothroyd; Dewhurst; Knight, 2013).

O *Design for Environment* (DfE) complementa essa etapa ao trazer a perspectiva ambiental para a tomada de decisão, avaliando materiais, impactos, eficiência e reciclabilidade. Buscando reduzir impactos ao longo do ciclo de vida. Ele garante que o projeto caminhe alinhado a práticas sustentáveis, especialmente quando o produto avança para fases finais de definição (Pinto Júnior; Mendes, 2018).

Por fim, o *Failure Mode and Effects Analysis (*FMEA) ajuda a identificar e prevenir possíveis falhas antes que elas aconteçam. Havendo duas principais aplicações, no *Design* FMEA (D-FMEA), avaliam-se falhas do próprio produto, e no *Process* FMEA (P-FMEA), avaliam-se falhas potenciais do processo de fabricação, só aplicado quando há lote piloto, o que não ocorreu neste caso. A ferramenta prioriza falhas segundo severidade, ocorrência e detecção, permitindo ações preventivas antes da produção (Fakhravar, 2021). Essas metodologias, usadas em momentos distintos do projeto, tornam o processo mais seguro, eficiente e alinhado às expectativas técnicas e estratégicas.

No contexto da transição energética que o mundo vive hoje, as chamadas fontes renováveis emergentes estão ganhando cada vez mais atenção. Isso porque elas têm o potencial de complementar aquelas já bem conhecidas, como a energia solar e a eólica, além de ajudar na diversificação da matriz energética do país. Entre essas novas fontes, destacam-se tecnologias como o hidrogênio verde, biocombustíveis avançados, energia vinda dos oceanos (como ondas e marés) e o uso do gás gerado a partir de biomassa (IEA Bioenergy, 2024).

A utilização do hidrogênio gerado a partir da reforma catalítica do etanol no setor

automotivo é uma solução inovadora e promissora, especialmente no contexto da transição energética brasileira. Isso porque ela aproveita uma infraestrutura já consolidada, a do etanol, e tem potencial para reduzir significativamente as emissões poluentes do transporte rodoviário. Em vez de depender de combustíveis fósseis, essa abordagem usa o etanol, um recurso renovável, para produzir hidrogênio diretamente dentro do veículo, trazendo novas possibilidades para os motores flex. Esse modelo faz ainda mais sentido no Brasil, país com longa tradição no uso de biocombustíveis (Camargo, 2021).

Esse tipo de inovação traz impactos importantes na cadeia automotiva. Ela exige ajustes nas linhas de montagem, capacitação técnica dos profissionais e investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento. Mesmo assim, o fato de poder usar a infraestrutura existente e matérias-primas nacionais facilita bastante a adoção dessa tecnologia, tornando-a mais competitiva e sustentável a longo prazo (Camargo, 2021).

Quando olhamos pelo lado socioambiental, substituir parte ou toda a dependência de combustíveis fósseis pelo hidrogênio renovável ajuda a reduzir a pegada de carbono da mobilidade urbana. Isso incentiva a indústria automotiva a buscar soluções limpas sem abrir mão da competitividade. Além disso, o uso do etanol, principalmente o de segunda geração, fortalece o agronegócio nacional e estimula a economia circular, gerando valor a partir de resíduos e ampliando os benefícios da matriz energética brasileira (USP, 2025).

3 METODOLOGIA

O projeto analisado é denominado "*Eficiência energética em motores Flex com enriquecimento de hidrogênio obtido por reforma catalítica embarcada*", ou mais sinteticamente por *Motor Etanol-Hidrogênio*. A escolha por esse projeto se justifica por seu reconhecido desempenho, parcerias profícuas entre agentes-chave do ecossistema de inovação para transição energética limpa, e alcance bem-sucedido dos objetivos propostos pelo projeto que foi coordenado e orquestrado por docentes da Escola de Engenharia da UNI-X. Estas características oferecem subsídio para o alcance do objetivo geral deste trabalho.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, foram utilizados dados primários, obtidos por meio de entrevistas com roteiro semiestruturado, aplicado a professores e pesquisadores envolvidos, e dados secundários, provenientes de análise documental, relatórios institucionais e informações da base de dados da Agência de Inovação da UNI-X. Tais dados são considerados não experimentais de caráter empírico, permitindo uma análise qualitativa voltada à identificação de padrões de colaboração, fluxos de informação e fatores críticos para o sucesso do projeto analisado.

A organização da pesquisa em etapas, conforme sugerido por Cauchick Miguel et al (2012), favorece a estruturação sistemática da pesquisa científica para estudos de caso. Busca-se, portanto, garantir a transparência e esclarecimento do percurso científico, conforme preconizado pela literatura acadêmica (Eisenhardt, 1989).

O Quadro 22 a seguir, evidencia o perfil dos entrevistados e algumas características sobre sua formação, níveis de responsabilidade e setor de envolvimento no projeto.

Quadro 2 - Perfil dos Entrevistados

Entrevistado	Cargo no Projeto	Organização	Tempo de Atuação na Organização	Formação acadêmica	Nível de formação	Área de expertise no projeto
#1	Coordenador do AGUNI-X	UNI-X - AGUNI-X	21 anos	Física	Doutorado	Coordenação da Agência de Inovação e articulação institucional
#2	Coordenador do projeto-química	UNI-X-QMC	23 anos	Engenharia Química	Doutorado	Coordenação técnica do projeto

#3	Responsável pela área de motores	UNI-X-MEC	a definir	Engenharia Mecânica	Engenheiro	Especialista em motores a combustão
#4	Responsável pela modelagem e caracterização termodinâmica	UNI-X-QMC	23 anos	Engenharia Química	Doutorado	Modelagem e caracterização termodinâmica

Fonte: Elaborado pela autora

As entrevistas foram conduzidas ao longo dos meses de abril a outubro de 2025, sendo gravadas com autorização prévia dos participantes, posteriormente transcritas e codificadas. A codificação dos dados foi orientada por temas previamente definidos com base no referencial teórico como integração interdepartamental, articulação de projetos de inovação interinstitucional, eficiência energética e inovação tecnológica, ferramentas de gestão de projetos, além de temas emergentes identificados nas falas.

Quadro 3 - Perfil das Organizações envolvidas no Projeto – Agentes do Ecossistema de Inovação UNI-X

Papel no Projeto	Tipo de Instituição	Descrição
Desenvolvimento de catalisador	Instituto Nacional de Tecnologia (INT)	Instituição pública de pesquisa aplicada em engenharia química
Integração com o sistema de motores	Universidade Federal - X (UF-X)	Grupo de pesquisa em engenharia mecânica automotiva
Parceria em construção de equipamento embarcado	Grande empresa nacional de autopeças (XX)	Fornecedora de sistemas de vedação e engenharia automotiva
Software de simulação de motores	Empresa internacional de software (AVL-X)	Desenvolvedora de ferramentas de simulação termoenergética
Financiamento do projeto	Governo Federal (MOVER)	Programa de Financiamento de Projetos de transição energética – locomoção com baixa emissão de CO^2

Fonte: Elaborado pela autora

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO

O projeto de Eficiência Energética em Motores Flex com Enriquecimento de Hidrogênio obtido por Reforma Catalítica Embarcada foi desenvolvido no âmbito do Programa Rota 2030, posteriormente denominado Programa Mobilidade Verde e Inovação (MOVER). Com financiamento público e privado, sua duração foi de quatro anos (2021–2025), e envolveu a UNI-X, a X-X, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT-X), a Universidade Federal x (UF-X) e a empresa AVL-X (Vide figura 3).

O sistema visava reforma catalítica embarcada, capaz de gerar hidrogênio a partir do etanol no próprio veículo. Essa solução buscava melhorar a eficiência energética dos motores a combustão interna e reduzir emissões poluentes, utilizando um combustível renovável abundante no Brasil. Segundo o Entrevistado 3, o conceito fundamental foi "*quebrar a molécula do etanol e gerar outros compostos. E um deles seria o hidrogênio. […] Isso para aumentar a eficiência do motor do carro e reduzir emissões*" (E# 3, 2025, informação verbal). Já o Entrevistado 4 reforçou que o projeto dialoga com a matriz energética nacional: "*rodar em etanol reduz em 80% as emissões de CO_2, considerando o ciclo completo da cana, contra 50% do veículo elétrico"* (E# 4, 2025, informação verbal).

Além da questão energética, o projeto também se destacou pelo nível de maturidade tecnológica (TRL-6) alcançado. Conforme destacou o Entrevistado 3, *"o grande marco mesmo foi o conjunto da obra: ter entregue o que a gente tinha, que era a reforma do etanol em baixa temperatura, próximo de 400 graus*" (E# 3, 2025, informação verbal). O TRL-6, ou *Technology Readiness Level 6*, indica que o sistema foi validado em ambiente relevante, conforme padrões internacionais de inovação tecnológica (Mankins, 2009). Esse avanço é especialmente significativo para um projeto acadêmico, evidenciando a maturidade das práticas de pesquisa e

desenvolvimento (P&D) aplicadas. Atingir esse nível de prontidão demonstra que o protótipo desenvolvido possui potencial de transição para a indústria automotiva, aproximando a pesquisa científica da aplicação prática.

Ao analisar esse contexto, observa-se que a integração interdepartamental e interinstitucional foi decisiva para que o projeto não se limitasse a uma prova de conceito. O trabalho conjunto entre a Engenharia Mecânica e a Engenharia Química da UNI-X, aliado à expertise externa em motores (UF-X), catálise (INT) e simulação (AVL), criou as condições para transformar uma ideia em um sistema validado experimentalmente.

O alinhamento entre os participantes foi mantido mesmo durante períodos críticos, como a pandemia, em função da clareza dos papéis e da comunicação contínua. Esse comportamento colaborativo se alinha à visão de Adner (2012), para quem a coordenação entre atores interdependentes é essencial para que a inovação aconteça em ecossistemas complexos.

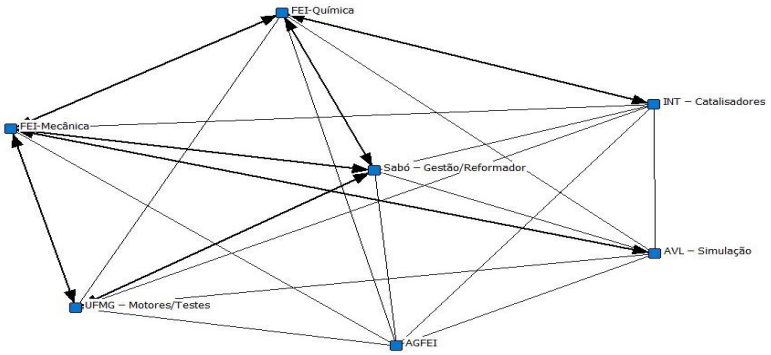
Quadro 4 - Objetivos técnicos e estratégicos do projeto

Objetivo	Descrição	Resultado alcançado
Melhorar eficiência energética	Aumentar rendimento do motor com hidrogênio embarcado	TRL-6 atingido
Reduzir emissões	Menor emissão de CO_2 comparado a motores tradicionais	Redução validada
Valorizar etanol	Usar combustível renovável nacional	Alternativa ao elétrico
Formar recursos humanos	Envolver mestres, doutores e ICs	3 mestres + 1 doutorado concluídos

Fonte: Elaborado pela autora

O Quadro 4 acima evidencia o alinhamento entre os objetivos técnicos e os resultados obtidos, demonstrando como o projeto cumpriu tanto metas científicas quanto estratégicas. Além do avanço tecnológico, o impacto formativo também foi expressivo, com a capacitação de alunos de graduação, mestrado e doutorado, consolidando o papel da UNI-X como formadora de recursos humanos altamente qualificados no setor automotivo sustentável.

Figura 3 - Rede de Cooperação Interinstitucional (Orquestradores, Moderadores, Agentes Independentes e Dependentes)



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 3, apresenta um gráfico de redes que representa o nível de inter-relacionamento dos principais stakeholders do projeto em função do foco de sua colaboração e interação ao longo do projeto. Nesse arranjo, a X aparece como Orquestradora, que assumiu a coordenação prática e articulou as entregas entre os demais grupos. Os departamentos da UNI-X atuam como Moderadores, conectando as áreas técnicas e garantindo o fluxo de informações. Já INT, UF-X e AVL funcionam como Agentes Independentes, contribuindo com especialidades próprias, enquanto a AGUNI-X se enquadra como Agente Dependente, oferecendo suporte administrativo e operacional. Essa distribuição evidencia uma rede estruturada de forma funcional, com papéis bem definidos.

No âmbito interno, participaram principalmente os departamentos de Engenharia Mecânica e Engenharia Química. O Entrevistado 4 reforçou essa atuação conjunta: *"foi mecânica e química. […] São dois centros de laboratórios que tiveram que conversar, mas essa parte foi a mais tranquila*" (E#4, 2025, informação verbal). Já o Entrevistado 2 complementou que a dinâmica entre os grupos se sustentava por encontros semanais e pela disposição em colaborar: *"trabalhavam juntos, principalmente com os externos, reuniões toda quinta, com todos. Teve muita integração"* (E# 2, 2025, informação verbal).

Essa fala indica que a integração não se deu apenas pela necessidade técnica, mas também pela cultura colaborativa criada ao longo do projeto. Entretanto, enquanto o Entrevistado 4 enfatiza a ausência de conflitos, o Entrevistado 3 observa que foi necessário um esforço maior de convencimento para alinhar visões: "*acho que o difícil foi convencê-los da necessidade de alterar o projeto como ele foi concebido"* (E# 3, 2025, informação verbal). Essa diferença de percepções revela que a colaboração não foi isenta de tensões, mas sim fruto de ajustes contínuos.

Segundo o Entrevistado 3, a X teve um papel essencial ao propor uma estrutura de gestão baseada em fluxogramas e indicadores de desempenho, o que permitiu disciplinar a execução das tarefas e garantir a entrega dos marcos técnicos. Essa governança profissionalizada demonstra a aplicação prática de princípios de *LPPD* (Lean Enterprise Institute, 2022), ao estruturar fluxos de informação e decisões compartilhadas em projetos complexos.

Quadro 5 - Atores e responsabilidades no projeto

Instituição	Papel principal	Contribuição-chave
UNI-X – Mecânica	Desenvolvimento do sistema, testes em bancada	Integração motor + reformador
UNI-X – Química	Estudo de catálise, suporte experimental	Articulação com INT
X	Gestão e construção do reformador	Coordenação de processos e qualidade
INT	Desenvolvimento de catalisadores	Viabilização da reforma em baixa temperatura
UF-X	Infraestrutura de motores e testes	Ensaios em dinamômetro
AVL	Softwares e simulação	Modelagem do desempenho
AGUNI-X	Gestão administrativa e suporte	Compras, contratos e logística

Fonte: Elaborado pela autora

4.2 COMPLEXIDADE E MECANISMOS DE INTEGRAÇÃO

4.2.1. Complexidade dos canais de comunicação

Foi identificado a presença de oito stakeholders principais, com isso, pode-se estimar o número de canais de comunicação potenciais a partir da fórmula: n(n-1)/2. O resultado mostra que havia 28 possíveis combinações de comunicação direta entre os stakeholders. Esse número evidencia o alto grau de complexidade na troca de informações e na tomada de decisão. Para enfrentar esse desafio, o projeto adotou mecanismos como os Grupos de Trabalho (GTs) e as reuniões mensais de integração, que se tornaram pontos de encontro estratégicos, favorecendo a comunicação clara e a concentração de dados importantes.

Esse cuidado com a comunicação está alinhado ao PMBoK, (PMI, 2021), que reconhece a gestão de comunicações como um dos fatores determinantes para o sucesso de projetos complexos. No caso em estudo, a existência de diferentes esferas de decisão (técnica, administrativa e financeira), reforçou a importância de fluxos de informação

transparentes e atualizados.

Nesse contexto, destacaram-se três pilares relacionados às ferramentas utilizadas: grupos de trabalho (GTs), o uso do *Concept Paper* associado ao LPPD e a adoção de um plano de trabalho estruturado como base do cronograma.

4.2.2. Grupos de trabalho e reuniões de integração

O projeto foi dividido em sete grupos de trabalho (GTs), cada um com representantes de diferentes instituições. Esses GTs eram responsáveis por tarefas específicas, como desenvolvimento do catalisador, integração motor-reformador, modelagem de software, testes em bancada e gestão administrativa. O Entrevistado 3 detalhou: *"toda última sexta-feira do mês, a gente se reunia e atualizava todo o projeto, [...] cada um tinha um indicador, um plano de trabalho"* (E# 3, 2025, informação verbal).

Além dos encontros mensais, havia reuniões semanais conduzidas pela X para tratar de pontos críticos. O Entrevistado 4 reconheceu a importância dessa prática: *"a X organizou, colocou fluxograma de todos os processos, analisou as possibilidades, e ali foi decidido seguir esse caminho de baixa temperatura. [...] Isso foi muito importante, a gestão do projeto foi a salvação*" (E# 4, 2025, informação verbal).

Esse modelo de governança reflete a literatura sobre gestão de projetos complexos, que aponta a importância de rituais de comunicação frequentes para manter coesão em times interdisciplinares (Adner, 2012; Chesbrough, 2003). No caso estudado, as reuniões mensais e semanais não se limitaram à atualização de tarefas, mas funcionaram como espaços de aprendizado coletivo e compartilhamento de decisões técnicas entre instituições de natureza distinta (acadêmica, industrial e governamental).

Quadro 6 - Grupos de Trabalho (GTs) do Projeto

GT	Nome / Foco	Instituições Envolvidas
GT1	Administração Geral	UNI-X, X, AGUNI-X
GT2	Reforma Catalítica	INT, UF-X, UNI-X
GT3	Protótipo	UNI-X, INT
GT4	Simulação	UNI-X, UF-X, AVL
GT5	Ensaio de Motor	UF-X, UNI-X
GT6	Concept Paper	UNI-X, X, AVL
GT7	Desenvolvimento de Produto	X, UNI-X

Fonte: Elaborado pela autora, com base no relatório do projeto

4.2.2 Concept Paper e LPPD

Um dos elementos mais inovadores da gestão foi a utilização do *Concept Paper*, prática originária do *Lean Product and Process Development* (LPPD). O *Concept Paper* é um documento sucinto que define propósito, escopo, requisitos, indicadores de sucesso e responsabilidades do projeto. Segundo o Entrevistado 3, essa metodologia foi fundamental para criar alinhamento: "*usamos o conceito de Concept Paper junto com engenharia simultânea LPPD. O cronograma foi baseado no plano de trabalho. [...] Isso ajudou a evitar retrabalho e a manter todos focados"* (E# 3, 2025, informação verbal).

A aplicação do LPPD nesse projeto evidencia a preocupação em integrar desenvolvimento de produto e processo desde os estágios iniciais, reduzindo incertezas e acelerando tomadas de decisão. Diferente da gestão tradicional de projetos, que muitas vezes separa etapas de pesquisa e validação, o LPPD busca convergência contínua entre requisitos técnicos, operacionais e industriais (Morgan; Liker, 2006).

A adoção do *Concept Paper + LPPD* foi um diferencial notável deste projeto. O que mais se destaca é que não se tratou apenas de um formalismo documental, mas de uma

ferramenta viva, atualizada a cada reunião e utilizada como norteador de decisões. Isso contrasta com a realidade de muitos projetos acadêmicos, em que relatórios são produzidos apenas para prestação de contas e não orientam efetivamente o trabalho.

Essa prática demonstra a incorporação de métodos da engenharia enxuta ao ambiente acadêmico, aproximando a UNI-X de um modelo de pesquisa aplicada e orientada a resultados. Conforme Morgan e Liker (2006), o LPPD é eficaz quando o aprendizado é sistematizado e os erros se tornam incentivos para a melhoria contínua, exatamente como ocorreu aqui, em que os feedbacks de cada GT eram traduzidos em ajustes sucessivos do *Concept Paper*. A metodologia também simboliza a ligação entre as dimensões técnica e gerencial da inovação, integrando ciência, engenharia e gestão de processos.

4.2.3 Plano de trabalho e cronograma

Outro aspecto essencial foi o plano de trabalho detalhado, que estruturou o cronograma do projeto. O Entrevistado 2 relatou que "*estabeleceu um cronograma de projeto, muito dispostos a ajudar. [...] Encontros presenciais, pessoal da INT foi até a X"* (E#2, 2025, informação verbal).

A clareza dos prazos e entregas reforçou o comprometimento dos participantes e foi apontada pelos entrevistados como um dos fatores que asseguraram o cumprimento dos marcos técnicos. Essa disciplina coletiva é coerente com o princípio do "obeya" no LPPD, um sistema de gestão visual que favorece a transparência e o senso de responsabilidade compartilhada (Morgan; Liker, 2006). Dessa forma, a gestão do projeto combinou planejamento rigoroso e flexibilidade adaptativa, permitindo que ajustes fossem incorporados conforme o avanço experimental.

Quadro 7 - Ferramentas de gestão aplicadas no projeto

Ferramenta	Aplicação no projeto	Impacto observado
Grupos de Trabalho (GTs)	Divisão em 9 frentes, reuniões semanais e mensais	Evitou perda de foco e redundâncias
Concept Paper	Documento de alinhamento de escopo, requisitos e responsabilidades	Clareza e engajamento entre equipes
LPPD (Lean Product and Process Development)	Integração simultânea entre desenvolvimento e processo	Redução de retrabalho e maior eficiência
Plano de Trabalho	Cronograma detalhado com indicadores	Disciplina coletiva e cumprimento de prazos

Fonte: Elaborado pela autora

O Quadro 7 sintetiza as ferramentas de gestão colaborativa que sustentaram o sucesso do projeto. Nota-se que todas possuem em comum o foco em comunicação, transparência e alinhamento entre múltiplas partes interessadas, elementos fundamentais em projetos de inovação aberta. Esses mecanismos também exemplificam a aplicação prática de conceitos de gestão da produção dentro de um contexto de P&D, reforçando a relevância da Engenharia de Produção como área integradora dentro da UNI-X.

4.3 DESAFIOS ENFRENTADOS

4.3.1 Impactos da pandemia

O primeiro grande desafio foi a pandemia de Covid-19, que coincidiu com a fase inicial do projeto. Laboratórios foram fechados, viagens suspensas e as atividades presenciais sofreram atrasos significativos. O Entrevistado 3 relatou que "*O projeto começou em março de 2021, mas as universidades e institutos só reabriram para pesquisadores em setembro daquele ano. Esse intervalo praticamente paralisou os testes experimentais e levou à*

prorrogação do cronograma por mais um ano" (E# 3, 2025, informação verbal).

A pandemia expôs a vulnerabilidade de projetos dependentes de infraestrutura laboratorial e mostrou a importância da flexibilidade na gestão. A literatura sobre inovação em tempos de crise (OECD, 2021) ressalta que a resiliência institucional está diretamente associada à capacidade de manter a comunicação e o fluxo de conhecimento, mesmo em condições adversas, o que foi possível aqui graças à governança estruturada e às reuniões virtuais mantidas entre os GT's.

4.3.2 Barreiras técnicas e estruturais

> No plano técnico, o principal desafio foi desenvolver um catalisador capaz de operar em baixas temperaturas. Tradicionalmente, os processos de reforma catalítica ocorrem em temperaturas bem mais altas, inviáveis para aplicações automotivas. O Entrevistado 4 afirmou: "*o grande marco mesmo foi o conjunto da obra: ter entregado a reforma do etanol em baixa temperatura*" (E# 4, 2025, informação verbal).

Outro obstáculo citado pelos entrevistados foi a complexidade técnica do reformador e o alto custo dos catalisadores, especialmente pela utilização de metais nobres como platina. Segundo Entrevistado 4, *"esse é um projeto caro, porque o reformador usa platina, e o preço de um componente desses impacta toda a cadeia produtiva do automóvel"*. Esse fator limitou a possibilidade de aplicação imediata do sistema em veículos leves, sendo mais viável para aplicações de maior porte, como caminhões ou máquinas agrícolas. Adicionalmente, o Entrevistado 2 chama atenção para desafios práticos de operação, como falhas nas linhas de combustível, vazamentos e danos ao catalisador, que reforçam a complexidade técnica da aplicação automotiva. Por isso, embora a tecnologia tenha potencial para ambos os segmentos, os custos elevados e os problemas operacionais tornam a adoção em veículos leves menos provável no curto prazo. Em caminhões e máquinas agrícolas, porém, o custo do catalisador se dilui no preço total do equipamento e os benefícios econômicos são maiores, o que torna esse segmento mais viável para uma implementação inicial, segundo a própria experiência dos entrevistados.

Esses relatos revelam que a inovação não acontece de forma linear. O *storytelling* do projeto mostra que avanços vinham seguidos de retrocessos operacionais, obrigando a equipe a manter a paciência e a resiliência.

4.3.3 Distância geográfica

A distância entre as instituições também trouxe limitações, UNI-X (São Bernardo do Campo), INT (Rio de Janeiro) e UF-X (Belo Horizonte). Essa distância física impôs barreiras logísticas e limitou os encontros presenciais, ocorrendo, segundo os entrevistados, apenas uma vez por ano. Isso reforçou a importância das reuniões semanais virtuais, mas também deixou lacunas na integração pessoal entre equipes. Esse fator reforça uma sugestão para projetos futuros: a criação de laboratórios compartilhados ou períodos de imersão entre grupos, além de evidenciar a importância de ferramentas digitais e metodologias de gestão remota em projetos interinstitucionais de grande porte.

Observa-se uma tensão entre visão estratégica e visão operacional muito comum em projetos de grande porte: a liderança tende a valorizar resultados financeiros, enquanto técnicos de laboratório percebem com maior intensidade os percalços diários. Neste sentido, o Quadro 8 apresenta a síntese dos principais desafios que ocorreram ao longo do período do projeto.

Quadro 8 – Síntese dos Desafios enfrentados no projeto

Tipo de desafio	Descrição	Consequência	Ação corretiva
Pandemia	Fechamento de laboratórios e atraso inicial	Prorrogação do prazo em 1 ano	Reuniões virtuais e foco em simulações
Técnico (catalisador)	Operar em baixas temperaturas (300–400°C)	Retrabalhos e ajustes	Colaboração com INT
Operacional	Vazamentos, falhas no dinamômetro, desprendimento do catalisador	Atraso em experimentos	Manutenção e redesign de peças
Financeiro	Orçamento limitado e alto custo de metais nobres	Risco de inviabilidade econômica	Propostas de novos catalisadores
Recursos humanos	Falta de pós-docs e equipe limitada	Ritmo de trabalho reduzido	Engajamento de mestres e ICs
Geográfico	Distância entre instituições	Poucos encontros presenciais	Reuniões virtuais semanais

Fonte: Elaborado pela autora

Embora o sucesso técnico tenha sido alcançado em grande parte do projeto, as dificuldades de maior impacto se relacionam com a estrutura de gerenciamento (impactos do cronograma, falta de recursos e braço de pesquisa) e a sustentabilidade econômica (alto custo do catalisador/reformador e falta de recursos para testes). Tais achados validam a importância analítica e a necessidade da sugestão de melhorias para a continuidade de projetos de P&D (Pesquisa e desenvolvimento), ainda que baseados em inovação aberta, sob o guarda-chuva de ecossistemas de inovação.

4.4 CONTRIBUIÇÕES DA INTEGRAÇÃO PARA O SUCESSO DO PROJETO

Ao analisar o projeto de reforma catalítica embarcada de etanol, torna-se evidente que os resultados alcançados não podem ser compreendidos apenas como fruto da competência técnica individual de cada instituição. O sucesso esteve diretamente ligado à integração entre departamentos, instituições e pessoas, que souberam transformar divergências em complementaridade.

A Agência de Gestão de Projetos da UNI-X (AGUNI-X) desempenhou papel de retaguarda, facilitando processos burocráticos e administrativos que, se não fossem geridos com agilidade, poderiam travar o andamento. O Entrevistado 2 foi enfático: "*muito boa, suporte sensacional, cotação de equipamentos, compras, estrutura aprimorosa"* (E# 2, 2025, informação verbal).

Esse reconhecimento mostra que a inovação não depende apenas de laboratórios e ideias criativas, mas também de processos de gestão eficientes, capazes de conectar ciência e execução.

Observa-se que o verdadeiro diferencial do projeto não foi um único avanço técnico, mas sim a capacidade de articular conhecimentos dispersos em uma solução integrada. A literatura de inovação aberta (Chesbrough, 2003) aponta que, em ecossistemas complexos, a soma de competências vale mais que as partes isoladas. O caso estudado confirma essa tese.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste estudo foi analisar como a integração entre departamentos da UNI-X e demais agentes do ecossistema de inovação contribuiu para o desenvolvimento bem-sucedido de um projeto de inovação tecnológica direcionado a transição energética limpa. Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, foi possível compreender quais fatores estruturais, gerenciais e colaborativos possibilitaram que um projeto de inovação tecnológica, envolvendo múltiplas instituições e alto grau de complexidade, avançasse da pesquisa de bancada até um protótipo validado em ambiente

relevante (TRL 6). O objetivo foi, portanto, alcançado, pois a análise detalhada do caso permitiu identificar padrões, práticas e estruturas de governança que sustentaram o avanço do projeto, mesmo diante de desafios técnicos, organizacionais e institucionais.

A metodologia adotada, baseada em entrevistas semiestruturadas, análise documental e reconstrução cronológica do processo, mostrou-se adequada para essa investigação. As entrevistas forneceram diferentes percepções sobre os desafios e as decisões tomadas ao longo do projeto, enquanto os documentos internos (como *concept paper*, fichas técnicas, relatórios de ensaio e registros de marcos do projeto) permitiram validar as informações e detalhar o fluxo real de desenvolvimento. A combinação desses métodos possibilitou compreender não apenas os resultados técnicos, mas o caminho percorrido para alcançá-los, aspecto essencial para estudos que envolvem gestão de inovação.

Os resultados revelaram que o sucesso do projeto esteve associado à integração entre três pilares principais: a governança estruturada em grupos de trabalho, a aplicação de ferramentas de engenharia e gestão, e a colaboração entre instituições com competências complementares. A divisão em GTs, com responsabilidades claras e comunicação recorrente, possibilitou coordenação eficiente mesmo durante a pandemia, quando as equipes enfrentaram restrições de acesso laboratorial. Do ponto de vista técnico, ferramentas como LPPD, Concept Paper, Engenharia Simultânea, DFMA, DfE e FMEA permitiram reduzir retrabalhos, acelerar decisões e manter alinhamento entre engenharia e gestão. Já a articulação entre UNI-X, INT, UF-X, X, AVL e AGUNI-X, cada qual contribuindo de forma singular, mostrou que projetos complexos prosperam quando diferentes ecossistemas conseguem atuar como um sistema integrado.

Apesar das contribuições alcançadas, o estudo apresenta duas limitações importantes. A primeira é o fato de analisar um único estudo de caso, o que naturalmente restringe a possibilidade de generalização. Para reduzir esse efeito, adotou-se uma análise profunda e triangulada, combinando entrevistas, documentos técnicos e registros formais do projeto para fortalecer a consistência dos achados. A segunda limitação está relacionada ao perfil dos entrevistados, todos vinculados ao ambiente acadêmico, sobretudo da UNI-X, o que pôde concentrar a interpretação sob a perspectiva universitária em um projeto que também envolveu indústria e governo. Esse viés foi mitigado por meio do cruzamento sistemático dos relatos com evidências documentais interinstitucionais, garantindo maior equilíbrio e confiabilidade às conclusões apresentadas.

Apesar dessas limitações, as contribuições do estudo são relevantes. Ele oferece um modelo replicável para projetos de inovação desenvolvidos em ecossistemas interinstitucionais, evidenciando como governança, comunicação e ferramentas de engenharia podem atuar de forma integrada para transformar ciência em aplicação. Além disso, o registro da trajetória do projeto cria um repositório de conhecimento para a universidade e para instituições parceiras, contribuindo para a formação de futuras equipes de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e fortalecendo a cultura de inovação colaborativa.

Como direcionamento para pesquisas futuras, recomenda-se avançar na investigação de modelos de governança que possam sustentar o projeto na fase pós TRL 6, especialmente durante o escalonamento industrial e a transição para o lote piloto. Esse aprofundamento permitiria compreender como diferentes arranjos institucionais, envolvendo governo, indústria e academia, podem apoiar a continuidade tecnológica e reduzir riscos na etapa de consolidação. Além disso, futuros estudos podem ampliar a amostragem a partir deste trabalho-base, incluindo projetos semelhantes desenvolvidos em outras universidades, centros de pesquisa, empresas ou órgãos governamentais. A incorporação dessas múltiplas perspectivas ajudaria a construir uma visão mais abrangente

dos desafios e boas práticas, tornando o *roadmap* proposto mais preciso, comparável e potencialmente generalizável para outros ecossistemas de inovação.

Em síntese, este estudo mostrou que a inovação não depende apenas da solução tecnológica, mas da capacidade de integrar pessoas, instituições e conhecimentos distintos ao longo de um processo estruturado. A experiência analisada ilustra que, quando há governança clara, comunicação consistente e alinhamento de objetivos, a diversidade se torna o maior motor da inovação, permitindo que ideias concebidas no laboratório evoluam até aplicações concretas com impacto real na sociedade.

REFERÊNCIAS

ADNER, R. *The Wide Lens: What Successful Innovators See That Others Miss*. Penguin Books, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263457226_Interview_-_Ron_Adner_managing_the_interdependencies_and_risks_of_an_innovation_ecosystem https://www.actionablebooks.com/summaries/the-wide-lens. Acesso em: 23 abr. 2025.

AGÊNCIA BNDES. BNDES e Finep já aprovaram R$ 14 bi para inovação em 2025. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/cultura/BNDES-e-Finep-ja-aprovaram-R%24-14-bi-para-inovacao-em-2025/. Acesso em: 30 out. 2025.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). *Inovar é preciso: situação atual, desafios e perspectivas da inovação no Brasil*. Blog do Desenvolvimento, 2023. Disponível em: https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/blogdodesenvolvimento/detalhe/Inovar-e-preciso-situacao-atual-desafios-e-perspectivas-da-inovacao-no-Brasil/. Acesso em: 02 jun. 2025.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. Design for Manufacture and Assembly (DFMA): abordagem para simplificação de produtos industrialmente viáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO – COBEF, 2013. Disponível em: https://abcm.org.br/anais/cobef/2013/PDFS/COBEF2013-0282.pdf. Acesso em: 05 set. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Brasil sedia 10ª Reunião Ministerial de Energia do BRICS e consolida consenso em torno da agenda de transição energética*. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-sedia-10a-reuniao-ministerial-de-energia-do-brics-e-consolida-consenso-em-torno-da-agenda-de-transicao-energetica. Acesso em: 30 mai. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Programa de aceleração da transição energética foi sancionado nesta quarta-feira*. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/programa-de-aceleracao-da-transicao-energetica-foi-sancionado-nesta-quarta-feira. Acesso em: 12 abr. 2025

CAMARGO, J. F. *Faz sentido pensar em etanol como fonte sustentável de hidrogênio?* Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL) – UFRJ, 2021. Disponível em: https://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/18_camargo_2021_11_19.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

CHESBROUGH, Henry. Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Harvard Business School Press, 2003. Disponível em: https://www.sustanciainfinita.com/wp-content/uploads/2017/03/LIBRO-Henry%20Chesbrough%20Open%20Innovation.pdf. Acesso em: 26 abr. 2025.

CHESBROUGH, Henry. Introduction to Open Innovation. HYPE Innovation Blog, 2016. Disponível em: https://www.hypeinnovation.com/blog/introduction-henry-chesbrough-open-innovation. Acesso em: 26 abr. 2025

CHESBROUGH, Henry. Everything You Need to Know About Open Innovation. Forbes, 21 mar. 2011. Disponível em: https://www.forbes.com/sites/henrychesbrough/2011/03/21/everything-you-need-to-know-about-open-innovation/. Acesso em: 26 abr. 2025.

COOPER, Robert G. The drivers of success in new-product development. Industrial Marketing Management, v. 76, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019850118300476. Acesso em: 20 abr. 2025.

DESIDÉRIO, P. H. M.; ZILBER, M. A. Barreiras no processo de transferência tecnológica entre agências de inovação e empresas. *Revista de Gestão, Tecnologia e Inovação*, v. 9, n. 2, p. 45-60, 2020. Disponível in: https://revistagt.fpl.emnuvens.com.br/get/article/download/650/536. Acesso em: 25 mai. 2025.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. *The Triple Helix–University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development*. EASST Review, 2000. Disponível em: https://www.leydesdorff.net/th11/th11.pdf https://www.researchgate.net/publication/226095485_Triple_Helix_of_University-Industry-Government_Relations. Acesso em: 20 mai. 2025

FAKHRAVAR, Hengameh. Application of Failure Modes and Effects Analysis in the Engineering Design Process. arXiv, 2021. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2101.05444. Acesso em: 20 set. 2025.

UNI-X. *Projeto da UNI-X de eficiência energética automotiva é aprovado pelo Governo Federal*. Disponível em: https://portal.UNI-X.edu.br/noticia/160/projeto-da-UNI-X-de-

eficiencia-energetica-automotiva-e-aprovado-pelo-governo-federal. Acesso em: 12 mar. 2025.
FERRO, José. O Concept Paper para um novo produto: o início de um projeto de desenvolvimento no ambiente LPPD. Lean Institute Brasil, 2018. Disponível em: https://www.lean.org.br/artigos/585/o-concept-paper-para-um-novo-produto-o-inicio-de-um-projeto-de-desenvolvimento-no-ambiente-lppd. Acesso em: 27 jul. 2025.
INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Inovação tecnológica no Brasil: desafios e insumos para políticas públicas. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 49, n. 4, p. 889-907, jul./ago. 2015.
Disponível em: https://www.scielo.br/j/rap/a/th4kPMNYksKFkZDwSdWs7Zj/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 28 mai. 2025.
INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023.
Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023. Acesso em: 02 jun. 2025.
INTERNATIONAL ENERGY AGENCY BIOENERGY (IEA Bioenergy). *What is bioenergy?*
Disponível em: https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/what-is-bioenergy/. Acesso em: 02 jun. 2025.
LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. How to Improve Decision-Making to Accelerate Product Development. [S.l.]: Lean.org, 2022. Disponível em: https://info.lean.org/hubfs/ebook%20files/ebook-How-to-Improve-Decision-final.pdf. Acesso em: 21 set. 2025.
MANKINS, John C. *Technology readiness assessments: A retrospective*. Acta Astronautica, v. 65, n. 9–10, p. 1216–1223, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576509002008.
DOI:
https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.058. Acesso em: 17 nov. 2025.
MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. *Rota 2030: projeto assinado entre empresas e ICTs visa melhorar o desempenho do etanol nos motores flex*. Disponível em: https://www.gov.br/int/pt-br/assuntos/noticias/rota-2030-projeto-assinado-entre-empresas-e-icts-visa-melhorar-o-desempenho-do-etanol-
nos-motores-flex. Acesso em: 25 out. 2025.
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Com participação da Finep e do BNDES, Governo Federal lança linha de crédito de R$ 12 bilhões com foco na Indústria 4.0. Brasília, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2025/08/com-participacao-da-finep-e-do-bndes-governo-federal-lanca-linha-de-credito-de-r-12-bilhoes-com-foco-na-industria-4.0. Acesso em: 10 set. 2025
MOORE, J. F. *The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems*. HarperBusiness, 1996. Disponível
em:
https://www.researchgate.net/publication/265217727_Business_ecosystems_and_the_view_of_the_firm
https://www.networklawreview.org/moore-death-of-competition/. Acesso em: 23 mai. 2025.
PINTO JÚNIOR, M. J. A.; MENDES, J. V. Panorama do design for environment: uma revisão bibliográfica sistemática. Revista Produção Online, v. 18, n. 1, p. 310–328, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v18i1.2784. Acesso em: 30 mai. 2025.
PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *Prioritizing innovation projects in strategy.* Newtown Square, PA: PMI, 2014. Disponível em: https://www.pmi.org/learning/library/prioritizing-innovation-projects-strategy-6092. Acesso em: 16 abr. 2025.
RAMOS, M. M.; FARIA, R. R.; LIMA, L. C. B. O papel das universidades no sistema nacional de inovação: reflexões a partir da avaliação da pós-graduação. *Ensaios de Avaliação*, v. 26, n. 100, p. 165-195, 2021. Disponível
em: https://www.scielo.br/j/ea/a/rtKFhmw4MF6TPm7wH9HSpFK/?lang=pt. Acesso em: 18 mai. 2025.
RAPINI, M. S. Interação universidade-empresa no Brasil: evidências do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq. *Estudos Econômicos*, v. 37, n. 1, p. 211-233, 2007. Disponível
em: https://www.scielo.br/j/ee/a/74DXgDzzdKGwn6tVGHgTc9P/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 18 mai. 2025. RIES, Eric. The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses. 2011. Disponível em:
https://ia800509.us.archive.org/7/items/TheLeanStartupErickRies/The%20Lean%20Startup%20-%20Erick%20Ries.pdf. Acesso em: 02 jun. 2025.
SEBRAE. *Ecossistemas de Inovação: uma visão prática*. Brasília: SEBRAE, 2021. Disponível em: https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/ecossistemas-de-inovacao,2929cf1a03fe5810VgnVCM1000001b0 0320aRCRD. Acesso em: 30 abr. 2025.
USP. *USP avança na produção de hidrogênio renovável a partir do etanol e impulsiona transição energética*. 2025. Disponível em: https://canaoeste.com.br/noticias/usp-avanca-na-producao-de-hidrogenio-renovavel-a-partir-
do-etanol-e-impulsiona-transicao-energetica/. Acesso em: 30 mai. 2025.