RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

Da pesquisa acadêmica à aplicação industrial um modelo de inovação aplicada para o setor energético

From academic research to industrial application: An applied innovation model for the energy sector

Desde la investigación académica hasta la aplicación industrial: un modelo de innovación aplicada para el sector energético

Marina Seixas Pereira
Universidade Federal de Uberlândia

Resumo

Este artigo propõe o MIA-Energia, um modelo conceitual de inovação aplicada, destinado a organizar a transição de tecnologias energéticas da pesquisa acadêmica para os ambientes industriais. O problema investigado é a perda de continuidade que costuma ocorrer entre a prova de conceito, a demonstração em escala relevante e a decisão de investimento. A pesquisa adota abordagem qualitativa e exploratória, apoiada em revisão narrativa e documental de literatura científica, normas técnicas e relatórios institucionais publicados até 2025. A síntese articula Tríplice Hélice, Inovação Aberta, Quadrante de Pasteur, Níveis de Maturidade Tecnológica e avaliação técnico-econômica. O modelo resultante compreende quatro movimentos: definição conjunta do problema; codesenvolvimento e validação em ambiente relevante; avaliação integrada de desempenho, riscos e custos; preparação para demonstração e escala. O MIA-Energia não é apresentado como um método empiricamente validado, mas como uma estrutura analítica passível de teste. Conclui-se que critérios explícitos de progressão, participação antecipada dos usuários industriais e documentação das incertezas podem melhorar a qualidade das decisões, desde que o modelo seja adaptado ao contexto tecnológico e submetido à avaliação prospectiva.

Palavras-chave: inovação energética; transferência de tecnologia; maturidade tecnológica; biomassa; avaliação técnico-econômica.

Abstract

This article proposes MIA-Energia, a conceptual applied innovation model designed to organize the transition of energy technologies from academic research to industrial environments. The study addresses the discontinuity that often arises between proof of concept, demonstration at a relevant scale, and investment decisions. It adopts a qualitative and exploratory approach based on a narrative and documentary review of scientific literature, technical standards, and institutional reports published through 2025. The synthesis combines the Triple Helix, Open Innovation, Pasteur's Quadrant, Technology Readiness Levels, and techno-economic assessment. The resulting model comprises four movements: joint problem definition; co-development and validation in a relevant environment; integrated assessment of performance, risks, and costs; and preparation for demonstration and scale-up. MIA-Energia is not presented as an empirically validated method, but as an analytical framework to be tested. The article concludes that explicit progression criteria, early participation of industrial users, and documentation of uncertainty may improve decision quality, provided that the model is adapted to each technological context and prospectively evaluated.

Keywords: energy innovation; technology transfer; technology readiness; biomass; techno-economic assessment.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

1 Introdução

A transição energética não depende apenas da disponibilidade de soluções técnicas. Ela também exige que os conhecimentos produzidos em universidades e centros de pesquisa atravessem etapas de validação, demonstração, financiamento e incorporação industrial. Essa passagem é particularmente exigente em setores intensivos em capital, nos quais falhas de escala podem comprometer a segurança, a continuidade operacional e o retorno econômico. O problema, portanto, não se resume a descobrir uma tecnologia promissora. É necessário construir evidências suficientes para decidir quando avançar, reformular ou interromper o desenvolvimento (IEA, 2020; IRENA, 2023; MARKARD, 2018).

A literatura sobre transições sociotécnicas mostra que mudanças profundas decorrem da interação entre tecnologia, infraestrutura, regulação, comportamento organizacional e mercados. Inovações isoladas raramente alteram sistemas energéticos sem redes de atores capazes de testá-las, financiá-las e integrá-las às práticas existentes. Isso ajuda a explicar por que a qualidade científica de uma descoberta não garante sua adoção e por que tecnologias com desempenho laboratorial semelhante podem seguir trajetórias industriais muito diferentes (GEELS et al., 2017; MARKARD, 2018).

O desafio torna-se visível quando uma tecnologia deixa a fase de prova de conceito, mas ainda não reúne histórico operacional, escala ou previsibilidade econômica suficientes para receber investimentos de implantação. A expressão Vale da Morte descreve esse intervalo, embora seus limites variem conforme o setor e o tipo de projeto. Em energia e processos químicos, plantas piloto e unidades de demonstração têm papel decisivo, pois permitem observar fenômenos que não se manifestam integralmente em bancada, como integração térmica, variabilidade da matéria-prima, manutenção, confiabilidade e comportamento dos equipamentos (HELLSMARK et al., 2016).

O contexto dos investimentos reforça a relevância dessa discussão. A Agência Internacional de Energia estimou que o investimento global em energia alcançaria US$ 3,3 trilhões em 2025. Desse total, aproximadamente US$ 2,2 trilhões seriam destinados a tecnologias de energia limpa, o dobro do montante previsto para petróleo, gás natural e carvão. A expansão do capital, contudo, não elimina a necessidade de selecionar projetos tecnicamente consistentes e economicamente defensáveis (IEA, 2025).

Este artigo tem como objetivo propor uma estrutura conceitual para apoiar essa seleção e organizar a cooperação entre a pesquisa e a indústria. O MIA-Energia reúne contribuições da

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

gestão da inovação e da engenharia de processos, sem reivindicar validade universal nem resultados ainda não observados. A questão orientadora é a seguinte: de que maneira um modelo de governança pode relacionar a maturidade tecnológica, a evidência experimental, a avaliação econômica e a responsabilidade institucional na transição da pesquisa energética para a aplicação industrial?

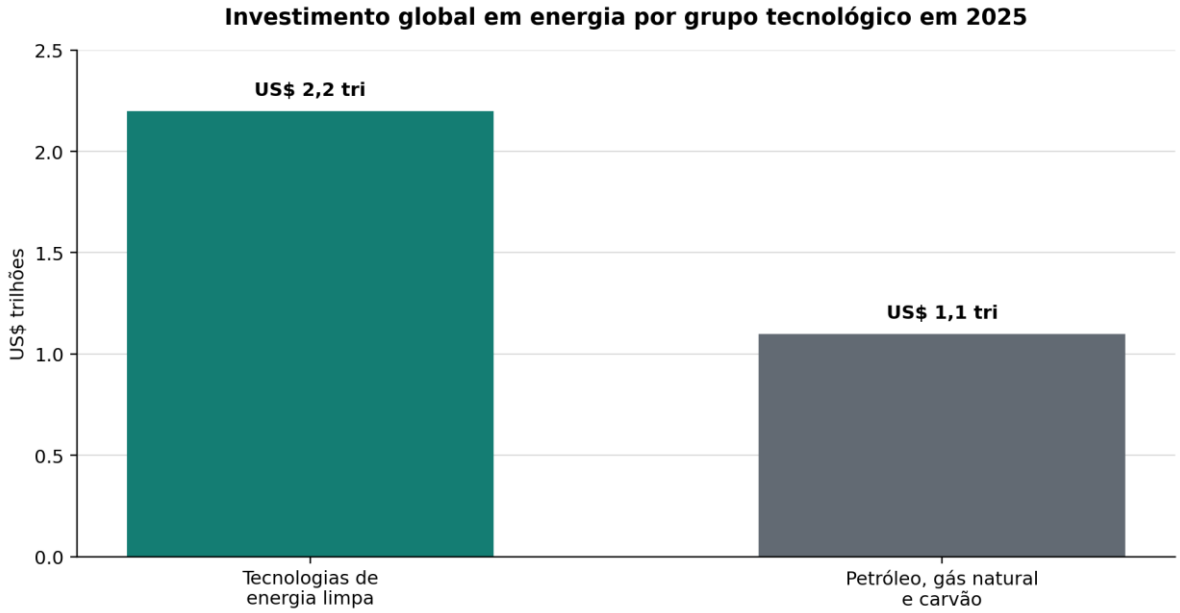


Gráfico 1 Investimento global em energia por grupo tecnológico em 2025

Fonte: elaboração da autora com dados da International Energy Agency, World Energy Investment 2025. Valores estimados para 2025.

2 Metodologia

A pesquisa possui natureza qualitativa, exploratória e propositiva. O trabalho foi desenvolvido como revisão narrativa e documental, adequada à integração de conceitos provenientes de campos distintos e à formulação de uma estrutura analítica. Não se trata de revisão sistemática, metanálise ou estudo bibliométrico. Por essa razão, o artigo não apresenta o fluxograma PRISMA, o número total de registros recuperados nem inferências quantitativas sobre o conjunto da literatura.

A seleção documental foi intencional e orientada pela pertinência para cinco eixos: interação entre universidade, indústria e governo; pesquisa orientada ao uso; inovação aberta e transferência tecnológica; maturidade, demonstração e escalonamento; transição energética, biomassa e avaliação técnico-econômica. Foram considerados trabalhos seminais necessários à definição dos conceitos e publicações mais recentes, até 2025, capazes de atualizar o contexto

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

energético e institucional.

O corpus combina artigos revisados por pares, livros de referência, normas e relatórios de organizações com responsabilidade técnica ou regulatória. Entre as fontes institucionais estão a International Energy Agency, a International Renewable Energy Agency, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, a Empresa de Pesquisa Energética e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. A presença de documentos institucionais decorre da necessidade de tratar investimentos, políticas públicas, matriz energética e regras de pesquisa e desenvolvimento com base em dados primários.

A análise ocorreu em três etapas. Primeiro, foram identificados problemas recorrentes de coordenação, maturidade, financiamento, escala e avaliação de risco. Em seguida, os conceitos foram comparados e organizados conforme o momento em que influenciam a trajetória tecnológica. Por fim, esses elementos foram sintetizados em quatro movimentos do MIA-Energia. As proposições do modelo foram redigidas como recomendações analíticas, não como resultados comprovados.

A principal limitação metodológica reside no caráter conceitual da pesquisa. Não foram realizadas entrevistas, observações em plantas, experimentos, análises de contratos ou estudos de caso com dados primários. O artigo também não estima causalidade entre a adoção do modelo e os resultados de custo, prazo ou desempenho. A validação dependerá de aplicações futuras em projetos reais, acompanhadas de protocolo prospectivo, indicadores previamente definidos e de documentação auditável.

3 A passagem da ciência à aplicação industrial

A relação entre conhecimento e aplicação não segue uma sequência automática. Rosenberg (1982) mostrou que a inovação é caracterizada por aprendizagem, retroalimentação e resolução de problemas durante o desenvolvimento. Stokes (1997), ao formular o Quadrante de Pasteur, também questionou a separação rígida entre ciência básica e pesquisa aplicada. Uma investigação pode buscar compreensão fundamental e, ao mesmo tempo, ser orientada por um problema de uso. Essa combinação é relevante para tecnologias energéticas, nas quais as decisões de pesquisa precisam considerar desde cedo as condições de operação.

A noção de Inovação Aberta ampliou essa leitura ao reconhecer que as organizações utilizam conhecimentos internos e externos para acelerar o desenvolvimento e explorar diferentes caminhos de mercado (CHESBROUGH, 2003). No setor energético, esse princípio pode

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

assumir a forma de projetos cooperativos, licenciamento, consórcios, centros conjuntos e contratação de infraestrutura especializada. A abertura, contudo, não elimina a necessidade de governança. Propriedade intelectual, confidencialidade, publicação e responsabilidades técnicas devem ser acordadas conforme o estágio do projeto.

Os Níveis de Maturidade Tecnológica oferecem uma linguagem comum para discutir a evolução de uma tecnologia. A escala não mede mérito científico, rentabilidade ou impacto ambiental; descreve a maturidade alcançada em determinado contexto de aplicação. Mankins (2009) ressalta que a avaliação depende da definição do sistema, dos requisitos e do ambiente relevante. Usar TRL como nota genérica, sem registrar as evidências que justificam cada nível, reduz sua utilidade.

Plantas piloto e de demonstração ocupam posição estratégica nesse processo. Elas produzem conhecimento técnico, mas também permitem articulação entre fornecedores, operadores, pesquisadores, financiadores e reguladores. Hellsmark et al. (2016) mostram que essas instalações podem cumprir funções distintas ao longo do desenvolvimento, da aprendizagem técnica à formação de redes e à redução de incertezas. Seu valor não deve ser avaliado apenas pela capacidade nominal ou pela geração imediata de receita.

A passagem para escala industrial requer, portanto, uma sequência documentada de perguntas. O fenômeno relevante foi reproduzido fora da bancada? Os balanços de massa e de energia fecham em condições representativas? A qualidade do produto atende ao uso pretendido? Os riscos de segurança foram avaliados? Existem insumos, manutenção e destinação de resíduos compatíveis com a operação? O MIA-Energia parte dessas perguntas para evitar que a maturidade científica seja confundida com a prontidão industrial.

4 Cooperação institucional e governança

O modelo da Tríplice Hélice descreve a inovação como resultado das interações entre universidade, indústria e governo, cujas funções podem se aproximar sem se tornar idênticas (ETZKOWITZ; LEYDESDORFF, 2000). Universidades contribuem com pesquisa, formação e infraestrutura; empresas trazem requisitos operacionais, acesso ao mercado e capacidade de implantação; governos regulam, financiam e definem prioridades públicas. A cooperação é produtiva quando essas diferenças são reconhecidas e transformadas em responsabilidades claras.

No Brasil, o setor de petróleo e gás possui um mecanismo específico de indução à pesquisa por

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

meio da cláusula de investimento em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação prevista em determinados contratos. A Resolução ANP nº 918/2023 disciplina a aplicação desses recursos e define condições para projetos e instituições executoras. Não se trata de uma obrigação uniforme para todas as empresas de energia, nem de uma destinação automática às universidades. O enquadramento depende dos contratos e das regras vigentes (ANP, 2023).

A governança de um projeto colaborativo deve ser proporcional ao risco. Nas fases iniciais, os acordos podem concentrar-se na questão científica, no acesso aos dados e na definição da propriedade dos resultados. À medida que o projeto avança, tornam-se necessários planos de segurança, critérios de aceitação, controle de mudanças, responsabilidades por equipamentos e decisões sobre escalonamento. A ABNT NBR ISO 56002 fornece diretrizes para sistemas de gestão da inovação, mas não substitui normas técnicas específicas nem determina um único processo de desenvolvimento (ABNT, 2020).

A definição antecipada dos direitos de publicação e de proteção intelectual reduz conflitos, desde que não transforme o projeto em uma estrutura inflexível. Prazos de embargo, formas de licenciamento e repartição de resultados devem ser negociados conforme a natureza da tecnologia, a contribuição de cada parte e a legislação aplicável. O MIA-Energia não fixa um prazo universal para essas decisões. Ele exige apenas que as informações sensíveis ou os investimentos relevantes sejam registrados antes que sejam comprometidos.

Outro elemento é a independência da avaliação. A equipe responsável pela tecnologia possui conhecimento profundo, mas também interesse legítimo em sua continuidade. Revisões técnicas externas, com critérios conhecidos, podem reduzir vieses e melhorar a tomada de decisão. Isso não significa retirar autonomia dos pesquisadores. Significa separar a produção da evidência da autorização para assumir novos compromissos de capital, sobretudo quando a demonstração envolve riscos operacionais ou ambientais.

5 Biomassa no contexto da transição energética

A biomassa ocupa posição relevante no debate energético porque pode fornecer eletricidade, calor, combustíveis e moléculas de carbono para a produção de produtos químicos. No Brasil, a experiência com cana-de-açúcar, resíduos agroindustriais e bioenergia criou competências científicas e produtivas acumuladas ao longo de décadas (FURTADO; SCANDIFFIO; CORTEZ, 2011; EPE, 2025). Esse histórico, contudo, não autoriza tratar toda rota baseada em biomassa como sustentável ou economicamente viável.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

O desempenho climático da bioenergia depende do ciclo de vida. Origem da matéria-prima, mudança de uso da terra, fertilizantes, transporte, conversão, coprodutos e horizonte temporal alteram o balanço de emissões. Por essa razão, a expressão "neutralidade de carbono" não deve ser aplicada automaticamente. O IPCC reconhece a contribuição potencial da bioenergia, mas também destaca seus limites, riscos e as diferenças entre os sistemas produtivos (IPCC, 2022).
O conceito de biorrefinaria visa aproveitar diferentes frações da biomassa para produzir energia, combustíveis, materiais e produtos químicos. A integração de correntes pode ampliar o aproveitamento dos recursos e distribuir receitas entre produtos de valores distintos (CHERUBINI, 2010). A viabilidade depende, porém, da estabilidade do fornecimento, da composição da matéria-prima, da demanda pelos produtos, do consumo de água e de energia e da destinação dos rejeitos.
Rotas termoquímicas, como a pirólise e a gaseificação, são estudadas para converter biomassa em gases, líquidos e sólidos energéticos. No caso da pirólise rápida, o controle de temperatura, o tempo de residência, a transferência de calor e a qualidade da alimentação influenciam o rendimento e as propriedades do bio-óleo. A etapa de upgrading pode exigir hidrogênio, catalisadores e tratamento adicional, fatores que devem ser integrados à análise desde o início (BRIDGWATER, 2012).
A função do modelo proposto não é escolher previamente uma rota. O MIA-Energia organiza a comparação entre alternativas e exige que os benefícios técnicos sejam examinados juntamente com os impactos ambientais, os custos e as condições de implantação. Uma tecnologia com rendimento elevado em bancada pode perder atratividade diante da logística da biomassa ou da necessidade de pré-tratamento. Outra, menos eficiente em conversão, pode apresentar maior robustez operacional. A decisão precisa refletir o sistema completo.

6 Escalonamento e avaliação técnico-econômica

O escalonamento de processos químicos não consiste em multiplicar as dimensões geométricas. Mudanças de volume alteram as relações entre área e capacidade, mistura, transferência de calor e de massa, tempo de residência e controle. Matérias-primas heterogêneas apresentam variação de umidade, densidade, teor de cinzas e de contaminantes. Por isso, dados de bancada devem ser acompanhados de hipóteses explícitas sobre o comportamento em escala maior.
A avaliação técnico-econômica permite relacionar o desempenho experimental aos investimentos, aos custos operacionais e ao valor dos produtos. Ela é mais útil quando

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

acompanha o desenvolvimento, em vez de aparecer apenas no relatório final. Nas fases iniciais, os resultados apresentam grande incerteza e devem ser expressos em intervalos, cenários e análises de sensibilidade. Números excessivamente precisos podem gerar falsa segurança.

Indicadores como custo nivelado de energia, preço mínimo de venda e valor presente líquido dependem de premissas financeiras, escala, fator de capacidade, vida útil, preço dos insumos e das condições regulatórias. O indicador adequado varia conforme a tecnologia e a decisão. Comparações só são válidas quando utilizam fronteiras de sistema, moeda, ano-base e hipóteses compatíveis. O MIA-Energia exige que essas premissas permaneçam alinhadas ao resultado apresentado.

A avaliação ambiental deve avançar em conjunto com a avaliação econômica. Ganhos em uma etapa podem deslocar impactos para outra, como o maior consumo de hidrogênio, de eletricidade ou de transporte. As análises de ciclo de vida ajudam a reconhecer essas transferências, mas também dependem de escolhas metodológicas. O objetivo não é produzir um único número incontestável, e sim compreender quais variáveis alteram a conclusão e onde os dados adicionais têm maior valor.

Os pontos de decisão propostos devem abranger três possibilidades: avançar, reformular ou interromper. A interrupção não representa necessariamente um fracasso científico. Em projetos intensivos em capital, identificar cedo uma incompatibilidade pode preservar recursos e orientar novas perguntas. Para que essa aprendizagem seja aproveitada, os motivos da decisão precisam ser documentados, incluindo evidências, incertezas e condições que permitam reavaliar a rota no futuro.

7 Estrutura do MIA-Energia

O primeiro movimento do MIA-Energia é a definição conjunta do problema. A equipe registra a necessidade industrial, o usuário da solução, o ambiente de aplicação, as restrições regulatórias e o desempenho mínimo esperado. Também distingue entre requisitos obrigatórios e atributos desejáveis. Essa etapa reduz o risco de desenvolver uma solução tecnicamente interessante para um problema sem prioridade, sem infraestrutura ou sem demanda claramente identificada.

O segundo movimento é o codesenvolvimento e a validação em ambiente relevante. Pesquisadores preservam a condução científica, enquanto profissionais de operação, segurança e engenharia contribuem para condições reais de uso. A divisão de funções não é fixa por TRL.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

Ela depende da competência necessária para cada tarefa. O avanço exige evidência experimental, rastreabilidade dos dados, análise de falhas e definição do próximo teste.

O terceiro movimento reúne avaliação de desempenho, risco, ambiente e economia. Os dados experimentais alimentam balanços, estimativas de escala e cenários financeiros. As incertezas são classificadas conforme sua influência sobre a decisão. Quando determinada variável domina o resultado, o projeto deve priorizar sua medição antes de aumentar a escala. Essa lógica aproxima a pesquisa do valor da informação, evitando ensaios que acrescentam dados, mas não reduzem a incerteza decisória.

O quarto movimento prepara a demonstração e a escala. Nessa fase, a governança incorpora os planos de operação, manutenção, suprimento, qualidade, segurança, licenciamento e encerramento do teste. O projeto deve definir antecipadamente o que constitui sucesso, resultado inconclusivo ou necessidade de reformulação. A demonstração deixa de ser uma vitrine tecnológica e passa a ser um experimento industrial com objetivos verificáveis.

Os quatro movimentos são iterativos. Uma avaliação econômica pode revelar a necessidade de alterar o produto; um teste em ambiente relevante pode redefinir o requisito industrial; uma mudança regulatória pode exigir um novo desenho de processo. O MIA-Energia não elimina essas revisões. Ele procura torná-las visíveis e documentadas. Sua contribuição está na integração de perguntas frequentemente tratadas por equipes separadas e em momentos desconexos.

8 Agenda de validação e indicadores

A avaliação do MIA-Energia deve começar com estudos prospectivos. Projetos participantes podem registrar seu nível inicial de maturidade, hipóteses críticas, critérios de progressão e indicadores antes da aplicação do modelo. Esse cuidado evita que o sucesso seja definido retrospectivamente. A comparação pode ocorrer com projetos anteriores da mesma organização ou com iniciativas conduzidas por processos distintos, respeitando as diferenças tecnológicas.

Indicadores de processo incluem o tempo entre decisões, a proporção de hipóteses críticas testadas, a completude da documentação, a participação de usuários e o número de reformulações fundamentadas. Indicadores técnicos podem acompanhar a estabilidade operacional, os balanços, a qualidade do produto e a evolução da maturidade. Indicadores econômicos devem registrar intervalos de custo e de sensibilidade, não apenas valores pontuais.

Resultados de transferência tecnológica exigem um horizonte mais longo. Licenciamento,

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

adoção, investimento posterior, continuidade de parcerias e formação de competências podem ser observados, mas não devem ser atribuídos automaticamente ao modelo. Mudanças de mercado, preços, regulação e estratégia empresarial também influenciam a trajetória. A análise precisa distinguir entre associação e causalidade.

A transparência é indispensável. Projetos sujeitos à confidencialidade podem publicar protocolos, categorias de indicadores e resultados agregados sem revelar segredos industriais. O importante é permitir que os avaliadores compreendam como as decisões foram tomadas. Sem essa documentação, o modelo corre o risco de se tornar apenas uma nova nomenclatura para práticas já existentes.

A validação em diferentes domínios também é necessária. Biomassa, hidrogênio, captura de carbono, armazenamento e digitalização apresentam riscos e prazos de desenvolvimento distintos. Um modelo útil deve preservar princípios comuns e permitir adaptações. Estudos futuros deverão investigar quais componentes permanecem estáveis, quais dependem do setor e em que condições a estrutura melhora efetivamente a qualidade das decisões.

Conclusão

A passagem da pesquisa acadêmica para a aplicação industrial é um problema de produção de evidências e de coordenação. Nas tecnologias energéticas, a dificuldade aumenta porque as demonstrações exigem capital, infraestrutura, segurança e integração com os sistemas existentes. A excelência científica é condição necessária, mas não suficiente para a prontidão industrial.

A literatura analisada permite compreender esse percurso sem reduzir a inovação a uma sequência linear. O Quadrante de Pasteur aproxima a investigação e o uso; a Tríplice Hélice situa a interação institucional; a Inovação Aberta explica a circulação do conhecimento; os TRL organizam a discussão sobre a maturidade; e a avaliação técnico-econômica relaciona o desempenho às decisões de escala.

A síntese desses elementos resultou no MIA-Energia, estruturado em definição do problema, codesenvolvimento, avaliação integrada e preparação para demonstração. O modelo propõe que requisitos, hipóteses, evidências e responsabilidades sejam registrados ao longo do desenvolvimento. Sua finalidade é melhorar a qualidade da decisão, não prometer sucesso tecnológico.

No caso da biomassa, essa prudência é particularmente importante. A disponibilidade de

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

recursos não implica, automaticamente, baixo impacto ou baixa viabilidade. Origem da matéria-prima, logística, conversão, integração energética, coprodutos e uso da terra podem alterar o resultado. A análise deve abranger o ciclo de vida e evitar declarações genéricas de neutralidade de carbono.

O crescimento dos investimentos em energia limpa amplia as oportunidades, mas também aumenta a responsabilidade na seleção de projetos. O dado da IEA para 2025 mostra a dimensão do capital mobilizado, não a eficácia de cada tecnologia. Modelos de governança podem contribuir para que as decisões de demonstração sejam sustentadas por critérios transparentes e comparáveis.

O MIA-Energia permanece uma contribuição conceitual. O artigo não apresenta entrevistas, experimentos ou casos industriais, nem atribui ao modelo reduções de prazo, custo ou risco. Essa delimitação preserva a validade do argumento e estabelece uma agenda verificável para sua avaliação.

A próxima etapa deverá aplicar o framework de forma prospectiva, com indicadores definidos antes do início do acompanhamento. A documentação de decisões, reformulações e resultados permitirá identificar quais componentes geram valor e quais precisam ser revistos. Publicações futuras também deverão ampliar a literatura específica de cada rota tecnológica analisada.

Conclui-se que a aproximação entre ciência e indústria depende menos de fórmulas universais do que da capacidade de formular boas perguntas, registrar incertezas e decidir com base em evidências. O MIA-Energia oferece uma arquitetura inicial para esse trabalho. Sua relevância científica será determinada pela transparência com que for testado e pela possibilidade de seus resultados serem examinados, reproduzidos e criticados.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução ANP nº 918, de 10 de março de 2023. Regulamenta o cumprimento da obrigação de investimentos decorrente da cláusula de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Brasília, DF: ANP, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 56002:2020. Gestão da inovação: sistema de gestão da inovação: diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy, v. 38, p. 68–94, 2012. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.01.048.

CHERUBINI, F. The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. Energy Conversion and Management, v. 51, n. 7, p. 1412–1421, 2010. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.01.015.

CHESBROUGH, H. W. Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Boston: Harvard Business School Press, 2003.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2025: ano-base

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 05/09/2026 | aceito: 08/09/2026 | publicação: 11/09/2026

2024. Rio de Janeiro: EPE, 2025.
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. DOI: 10.1016/S0048-7333(99)00055–4.
FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. I. G.; CORTEZ, L. A. B. The Brazilian sugarcane innovation system. Energy Policy, v. 39, n. 1, p. 156–166, 2011. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.09.023.
GEELS, F. W. et al. Sociotechnical transitions for deep decarbonization. Science, v. 357, n. 6357, p. 1242–1244, 2017. DOI: 10.1126/science.aao3760.
HELLSMARK, H.; FRISHAMMAR, J.; SÖDERHOLM, P.; YLINENPÄÄ, H. The role of pilot and demonstration plants in technology development and innovation policy. Research Policy, v. 45, n. 9, p. 1743-1761, 2016. DOI: 10.1016/j.respol.2016.05.005.
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. DOI: 10.1017/9781009157926.
INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Clean Energy Innovation. Paris: IEA, 2020.
INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Investment 2025. Paris: IEA, 2025.
INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway. Abu Dhabi: IRENA, 2023.
MANKINS, J. C. Technology readiness assessments: a retrospective. Acta Astronautica, v. 65, n. 9-10, p. 1216-1223, 2009. DOI: 10.1016/j.actaastro.2009.03.058.
MARKARD, J. The next phase of the energy transition and its implications for research and policy. Nature Energy, v. 3, p. 628–633, 2018. DOI: 10.1038/s41560-018-0171-7.
ROSENBERG, N. Inside the Black Box: Technology and Economics. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
STOKES, D. E. Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation. Washington, DC: Brookings Institution Press, 1997.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.