

XIII SEMPAD

Seminário de Pesquisa em Administração UNIFACS

GOVERNANÇA DA INOVAÇÃO NO SETOR DE BIOGÁS: UMA ANÁLISE DA FUNÇÃO DE CAPACITAÇÃO NO MODELO DAS HÉLICES

VAGNER MIYAMURA¹

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6103-7981>

vagner.2025@alunos.utfpr.edu.br

ANDRIELE DE PRÁ CARVALHO¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0266-8595>

andrieled@utfpr.edu.br

MARCO ANTONIO FERREIRA¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1760-2246>

marcoferreira@utfpr.edu.br

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR, Brasil.

Resumo: A transição para uma matriz energética mais sustentável representa um desafio de governança complexo, no qual o biogás emerge como um vetor estratégico para o Brasil. Contudo, a difusão de suas tecnologias enfrenta barreiras sociotécnicas que, conforme a literatura, derivam de uma lacuna na capacitação e no engajamento social. O objetivo deste artigo é, portanto, realizar uma revisão estruturada da literatura para analisar como a função de capacitação é abordada nos modelos de governança (Hélices) aplicados ao setor de biogás. A metodologia consistiu na análise de 37 trabalhos, incluindo artigos empíricos e teóricos seminais. Os resultados indicam que, enquanto a literatura sobre sistemas de inovação discute o papel de "intermediários" como executores da capacitação, a teoria estrutural dos modelos de Hélice carece de uma dimensão formal para este agente articulador. Conclui-se que existe uma lacuna na integração formal entre as teorias de intermediários e das Hélices, e sugere-se, para futuras pesquisas, a investigação de como essa integração pode gerar um modelo de governança mais completo e eficaz.

Palavras-chave: Biogás; Modelo de Hélice; Governança da Inovação; Atores Intermediários; Capacitação Social; Políticas Públicas.



INTRODUÇÃO

A busca por soluções energéticas sustentáveis configura-se como uma pauta global, impulsionada pela crescente demanda por energia e pela necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a dependência de combustíveis fósseis. Análises publicadas até 2023 já apontavam que os investimentos em energia limpa, embora crescentes, ainda estavam aquém do necessário para atender a essa demanda de forma sustentável (IEA, 2023). Além disso, fontes antropogênicas de metano (CH_4) – um gás de efeito estufa com potencial de aquecimento cerca de 28 vezes maior que o CO_2 em um horizonte de 100 anos – representavam parcela significativa das emissões globais (IPCC, 2021).

No início da década de 2020, o Brasil já se destacava nesse contexto, ocupando posição de referência internacional em energia limpa. Dados de 2023 indicavam que 47,4% da matriz energética brasileira provinham de fontes renováveis, superando em muito a média global de 15,0% (EPE, 2024). Essa vocação era reforçada pela liderança mundial na produção e uso de biocombustíveis, amparada por políticas robustas de incentivo.

Dentro dessa matriz diversificada, o biogás consolidou-se como vetor estratégico. Remontando à década de 1970, sua principal vantagem reside na conversão de resíduos orgânicos em uma fonte de calor, eletricidade ou biometano. Estudos de 2022 estimaram o potencial de produção de biogás no Brasil em 84,6 bilhões de metros cúbicos por ano, embora essa capacidade permanecesse subutilizada (ABILOGÁS, 2022). Estimava-se que apenas 0,009% das propriedades rurais utilizavam digestão anaeróbica.

Apesar desse potencial, o setor cresceu exponencialmente entre 2003 e 2020, registrando aumento de 22% no volume produzido em 2022. Em 2023, o país dispunha de 936 plantas de biogás, das quais 885 estavam em operação (CIBIOGÁS; ABILOGÁS, 2023). A capilaridade do setor se manifestava na predominância de pequenas plantas agropecuárias (79% do total), responsáveis por apenas 11% da produção, ao passo que as poucas plantas de saneamento (9%) geravam 73% do biogás nacional (Mühl; de Oliveira, 2022). Em 2023, a agropecuária respondia por 63% da produção, destacando a geração distribuída como solução para eletrificação rural.



A transição para um sistema energético baseado em biogás transcende desafios tecnológicos e econômicos, configurando-se como um complexo desafio sociotécnico que envolve pessoas, processos e políticas. Para analisar essa rede de interações, a família de modelos de Hélice tornou-se ferramenta teórica fundamental. O modelo da Hélice Tríplice (Triple Helix), proposto por Etzkowitz e Leydesdorff (1995), descreve a inovação na interseção entre Universidade, Indústria e Governo, mediada por redes trilaterais e organizações híbridas. Posteriormente, a Hélice Quádrupla incorporou o “público baseado na mídia e na cultura” e a “sociedade civil” como quarto eixo (Carayannis; Campbell, 2009), enquanto a Hélice Quíntupla adicionou o “ambiente natural” como quinto motor de sustentabilidade (Carayannis; Barth; Campbell, 2012). Essas expansões pavimentam o caminho para Hélices N-tuplas que capturam interações sistêmicas mais amplas.

A simples adoção de modelos de Hélice, porém, não garante sucesso. A colaboração entre atores com interesses e mecanismos de responsabilização distintos é complexa (Jensen; Trägårdh, 2004), gerando frequentemente transtornos de múltiplas responsabilizações e dificultando a resolução de problemas perversos que exigem ação em rede. A análise crítica dessas dinâmicas permite identificar desalinhamentos de interesses, lacunas colaborativas e barreiras à inovação.

A literatura aponta que desafios de governança do biogás raramente se limitam ao tecnológico. Falhas na governança territorial, falta de coordenação entre stakeholders e comunicação ineficaz com populações locais geram conflitos que podem paralisar iniciativas (Bourdin; Nadou, 2020). Dentro de estruturas colaborativas, parceiros tendem a privilegiar comunicação unidirecional, desconsiderando saberes divergentes da sociedade e criando bloqueios discursivos (Van Mölling; Bekkers; Kemp, 2022). A experiência internacional com biodigestores de pequeno porte reforça essa lacuna: alta taxa de abandono não decorre de falha tecnológica, mas da carência de suporte técnico, treinamento e manutenção (Da Silva; dos Santos, 2021).

Fica evidente, portanto, a lacuna sociotécnica entre a solução tecnológica e sua assimilação social e educacional. A disponibilização de tecnologia e políticas públicas “de cima para baixo” são insuficientes. O sucesso e a sustentabilidade de longo prazo do biogás dependem de incorporar a capacitação e o suporte técnico como pilares centrais de governança, exigindo uma Hélice Social que promova diálogo bidirecional e construa capacidade local.



Diante desse cenário, este artigo realiza uma revisão estruturada da literatura para analisar como a função de capacitação é abordada nos modelos de governança (Hélice Tríplice, Quádrupla, Quintupla e variações) aplicados ao setor de biogás. Busca-se mapear desafios e oportunidades para integrar capacitação e articulação como pilares das políticas públicas de inovação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A análise da evolução do setor de biogás no Brasil, conforme retratada na literatura especializada, frequentemente transcende avaliações puramente técnico-econômicas, que se mostram insuficientes para explicar a trajetória de uma tecnologia inserida em um contexto social, político e cultural complexo (DE OLIVEIRA, 2019). Para capturar essa complexidade, os pesquisadores recorrem a robustos quadros teóricos de análise de transições sociotécnicas. Entre os mais proeminentes estão a Perspectiva Multinível (PMN), um framework que analisa as transições como processos evolutivos de reconfiguração (GEELS, 2002), e a abordagem de Sistemas de Inovação Tecnológica (TIS), que avalia o desenvolvimento tecnológico através da análise de suas funções sistêmicas (HEKKERT et al., 2007).

A Perspectiva Multinível (PMN) é utilizada para compreender a trajetória do biogás no Brasil ao analisar a interação entre três níveis: os "nichos", onde inovações radicais são incubadas; o "regime sociotécnico", que compreende as práticas e regras dominantes que garantem a estabilidade do sistema; e a "paisagem" (*landscape*), o contexto externo mais amplo que exerce pressão sobre o regime (GEELS, 2002). Estudos que aplicam esta perspectiva demonstram que eventos de paisagem, como o Acordo de Paris, exerceram forte pressão sobre o regime dos combustíveis fósseis no Brasil, forçando adaptações (DE OLIVEIRA; NEGRO, 2020). Nesse contexto, a política é vista como uma dimensão do regime que pode tanto criar barreiras para inovações de nicho quanto facilitar seu avanço. A Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), por exemplo, é analisada como uma resposta do regime a essas pressões (DE OLIVEIRA; NEGRO, 2020). Análises específicas identificam fases distintas nessa transição: uma de experimentação inicial (décadas de 1970 a 1990), uma de projetos-piloto impulsionados por regulação (décadas de 2000 a 2010) e a fase atual de expansão (DA SILVA et al., 2024).



Paralelamente, a abordagem de Sistemas de Inovação Tecnológica (TIS), que analisa o desempenho do sistema através de funções-chave como "formação de mercado", "mobilização de recursos" e "direcionamento da busca" (HEKKERT et al., 2007), é empregada para examinar as condições que habilitaram ou restringiram a difusão das tecnologias de biogás no país (DE OLIVEIRA; NEGRO, 2019). Esta lente analítica foca nas interações entre os atores e as estruturas contextuais. Pesquisas que utilizam o TIS concluem que a evolução de regulações setoriais e de suas infraestruturas de suporte, bem como a interação entre essas estruturas, foram os principais responsáveis pelas grandes mudanças observadas no campo do biogás no Brasil (DE OLIVEIRA; NEGRO, 2019).

Um tema transversal que emerge de ambas as abordagens é a complexidade das políticas públicas. A literatura enfatiza a necessidade de analisar o "*policy mix*", ou seja, o conjunto de instrumentos políticos que influenciam o setor (DE OLIVEIRA, 2019; DE OLIVEIRA et al., 2020). No contexto brasileiro, caracterizado como fragmentado, a coerência dessas políticas é um desafio significativo. Estudos apontam que as pré-condições para o desenvolvimento do biogás diferem consideravelmente entre os estados, o que sugere a necessidade de estruturas de governança mais descentralizadas (DE OLIVEIRA et al., 2020). Fica claro, portanto, que para compreender a governança do biogás no Brasil, é fundamental ir além de análises técnico-econômicas e investigar as especificidades das condições socioeconômicas, realidades locais e arranjos institucionais (DE OLIVEIRA, 2019).

A literatura que analisa a difusão de tecnologias como a de digestão anaeróbica no Brasil evidencia que as interações do modelo clássico da Hélice Tríplice — Governo, Universidade e Empresa — ocorrem de maneira distinta de outros contextos, como o europeu, sendo fortemente influenciadas pelas características socioeconômicas do país (KANDA et al., 2021). Em modelos classificados como Hierarquias de Mercado (Hierarchical Market Economies - HMEs), como o brasileiro, é comum que o Estado assuma um papel central e de orquestração na difusão de novas tecnologias, em vez de atuar apenas como regulador ou facilitador, como proposto no modelo original (ETZKOWITZ; LEYDESDORFF, 1995; KANDA et al., 2021).

O papel do Governo (a primeira hélice) no setor de biogás brasileiro é retratado como dinâmico e evolutivo. Em projetos pioneiros, o poder público atuou como o principal agente financiador, assumindo os custos de implementação para viabilizar os primeiros modelos de negócio e reduzir os riscos para os produtores (DOS SANTOS et al., 2020). Com o tempo, observa-se



uma mudança nesse papel: o Estado diminui sua participação como financiador direto e amplia sua atuação na promoção de políticas públicas que estruturam o ambiente legal e institucional do setor (DOS SANTOS et al., 2020). No entanto, a percepção dos atores do setor é que, para a expansão do biogás acelerar, ainda é necessário um forte apoio estatal e federal para o estabelecimento de mercados de energia e a criação de uma política nacional com objetivos claros e compartilhados (DE OLIVEIRA et al., 2022).

A hélice da Indústria, por sua vez, é representada por empresas privadas, principalmente do setor de alimentos e da agropecuária, que figuram como os primeiros a adotar a tecnologia (KANDA et al., 2021). A motivação para essa adoção é frequentemente resolver problemas ambientais prementes, como a eutrofização de bacias hidrográficas, transformando um passivo ambiental em um ativo energético (KANDA et al., 2021). A literatura aponta que o Sistema de Inovação do Biogás no Brasil (BBIS), embora impulsionado por essas atividades empreendedoras, se mostra "não balanceado", sendo impedido por recursos limitados e pela falta de legitimidade em comparação com outros biocombustíveis mais estabelecidos (DE OLIVEIRA et al., 2022).

A terceira hélice, a Academia, aparece nos estudos analisados como o elo mais frágil na percepção dos outros atores. Uma pesquisa sobre a perspectiva dos agentes do setor revelou que os produtores, por exemplo, acreditam que as universidades e escolas técnicas oferecem poucos cursos e disciplinas específicas sobre biogás (DE OLIVEIRA et al., 2022). Isso sugere que, do ponto de vista da indústria, a interação com a academia é limitada e que o papel da universidade na formação de capital humano e na difusão de conhecimento técnico para o setor ainda não é percebido como robusto ou suficiente (DE OLIVEIRA et al., 2022).

A análise da literatura sobre o Sistema de Inovação do Biogás no Brasil revela que, para além dos atores clássicos da Hélice Tríplice, o ecossistema é profundamente influenciado pela atuação de "atores intermediários". Estas são organizações que, embora não se encaixem perfeitamente em uma das hélices tradicionais, desempenham funções vitais de articulação, conexão, capacitação e legitimação do setor (DE OLIVEIRA; DA SILVA; KANDA, 2022). Um exemplo emblemático de intermediário sistêmico no contexto brasileiro é o Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás (CIBiogás), cuja atuação é fundamental para compreender a dinâmica da inovação no setor (DE OLIVEIRA; DA SILVA; KANDA, 2022; DE OLIVEIRA; DA SILVA; VALLE, 2021; PINHEIRO; BORSATO, 2020). Tais instituições



funcionam como uma ponte que conecta diferentes *stakeholders*, agregando e circulando conhecimento e facilitando a transição sociotécnica.

A necessidade de tais atores e de uma forte atuação na Hélice Social se torna evidente ao se analisar os desafios de engajamento. A implementação de projetos de biogás frequentemente encontra barreiras que raramente podem ser simplificadas pelo conceito de NIMBY (*Not In My Backyard*). Essa resistência é, na verdade, um sintoma de falhas mais profundas na governança territorial e na ausência de processos de consulta que envolvam a população de forma transparente (BOURDIN; NADOU, 2020). Um desafio crítico reside na forma como os clusters de inovação se comunicam com a sociedade, muitas vezes criando um "*discursive lock-in*" ao focar em uma comunicação unidirecional e desconsiderar as preocupações do público (VAN MÖLLING; BEKKERS; KEMP, 2022). A percepção dos diferentes grupos de *stakeholders* também evidencia um desalinhamento, indicando a necessidade de facilitar o diálogo para uma governança mais equilibrada (HORSCHIG et al., 2020). Para que a Quarta Hélice seja efetiva, portanto, não basta apenas "incluir" a sociedade; é preciso desenvolver a capacidade de "ouvir" e "aprender" com o retorno social, estabelecendo um diálogo bidirecional que possibilite a criação de soluções mais robustas e socialmente aceitas (VAN MÖLLING; BEKKERS; KEMP, 2022).

A análise da governança do biogás em escala global revela que a Europa já se destacava como a região com o desenvolvimento mais avançado, sendo responsável por mais de 70% da geração mundial de biogás em 2017 (ZAHRA; WAHID; HAQUE, 2021). O sucesso europeu é largamente atribuído à implementação de robustos pacotes de políticas públicas (*policy mix*) que combinam diferentes tipos de instrumentos para fomentar o setor (SACHSENDAHL et al., 2021). O caso da Alemanha, que possui o maior mercado de biogás do mundo, é paradigmático. O desenvolvimento do setor foi majoritariamente controlado pela Lei de Energias Renováveis (*Renewable Energy Act - REA*), que, por meio de um manejo adaptativo, conseguiu equilibrar os interesses dos setores agrícola e energético (HORSCHIG; THRÄN, 2017). No entanto, a experiência alemã também evidencia os desafios da governança da sustentabilidade, como as preocupações públicas sobre a competição com a produção de alimentos (o debate "*food vs. fuel*"), levando a ajustes na legislação (HORSCHIG; THRÄN, 2017).

Uma análise comparativa de oito países europeus revela que não existe um modelo único de política que sirva para todos, sendo a previsibilidade e a estabilidade dessas políticas fatores-



chave para o sucesso (SACHSEND AHL et al., 2021). Em contraste, o desenvolvimento do setor na Ásia, embora crescente, enfrenta desafios como a falta de políticas de fomento e, crucialmente, a ausência de instituições de microfinanciamento que viabilizem os investimentos para os agricultores, uma lição valiosa sobre a importância de alinhar as políticas de energia com as de desenvolvimento econômico (WAHAB et al., 2022).

A análise da implementação de projetos de biogás em países em desenvolvimento revela um conjunto de barreiras comuns. Uma revisão da produção de biocombustíveis na América Latina demonstra que, apesar da vasta disponibilidade de matéria-prima, a maioria das nações enfrenta dificuldades em converter suas vantagens comparativas em avanços tecnológicos concretos (VEGA; RIVAS; CASTILLO, 2022). Mesmo o Brasil, líder regional, ainda subutiliza seu enorme potencial no setor de biogás (VEGA; RIVAS; CASTILLO, 2022). O caso da Nigéria ilustra um dos principais gargalos: a ausência de um arcabouço político e regulatório específico (BELLO; AL-AMIN; LAWAL, 2021). A experiência de outros países em desenvolvimento reforça a ideia de que a formulação de políticas claras e o *benchmarking* com casos de sucesso são passos essenciais para guiar o desenvolvimento sustentável do setor (BELLO; AL-AMIN; LAWAL, 2021).

3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma revisão estruturada da literatura, método que combina o rigor de processos claros e replicáveis de busca e seleção, típicos de revisões sistemáticas, com a flexibilidade analítica de abordagens narrativas, permitindo mapear o campo de conhecimento, identificar lacunas e construir argumentações teóricas (BAUMEISTER; LEARY, 1997). A transparência do processo de busca e seleção de fontes confere robustez ao levantamento, enquanto a possibilidade de sintetizar trabalhos com diferentes enfoques sustenta uma perspectiva crítica e inovadora sobre a aplicação dos modelos de Hélice no setor de biogás.

A construção do corpus bibliográfico seguiu três fases principais. Na fase inicial, realizou-se uma busca exploratória ampla nas bases Scopus, ScienceDirect, Google Acadêmico e Portal de Periódicos da Capes/UTFPR, utilizando combinações de palavras-chave em inglês —



(“triple helix” OR “triple helix model”) AND (biogas OR “renewable energy”) AND (“public policy” OR governance OR innovation) —, que resultou em 43 artigos preliminares após filtrar aqueles que integravam simultaneamente “biogas” e “helix”.

Em seguida, procedeu-se à triagem e validação em dois níveis: primeiro, os títulos, resumos e conclusões foram avaliados para classificar cada trabalho em Alta, Média ou Baixa relevância, com base na presença explícita da interseção entre biogás, governança e componente social/educacional; depois, essas classificações foram criticamente revisadas para confirmar a pertinência de cada artigo ao escopo do estudo.

Por fim, foi incorporada uma fase de reforço teórico, incluindo sete artigos seminais que fundamentam as principais teorias de Hélice. Ao final do processo, o corpus final reuniu 37 trabalhos, dos quais os de Alta relevância e os seminais formaram o núcleo da análise, enquanto os de Média relevância ofereceram contexto comparativo e os de Baixa relevância foram excluídos da discussão principal.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação dos modelos de Hélice ao contexto brasileiro revela dinâmicas institucionais e territoriais singulares, marcadas por desequilíbrios setoriais e desafios de governança colaborativa. No Brasil, caracterizado como uma Hierarquia de Mercado (HME), o Estado assume papel central de orquestração, de forma que a primeira hélice atua primordialmente como financiadora inicial dos projetos de biogás e, em seguida, como formuladora e promotora de políticas públicas específicas para o setor (KANDA et al., 2021; DOS SANTOS et al., 2020). Esse protagonismo estatal é indispensável diante de um mercado interno ainda em consolidação e de um cenário internacional competitivo, mas também expõe o risco de dependência excessiva de recursos públicos para viabilização de projetos.

A hélice da Indústria, especialmente a agropecuária, tem demonstrado interesse em converter passivos ambientais em ativos econômicos, adotando tecnologias de biodigestão para gerar energia e biofertilizantes. No entanto, o setor ainda é considerado “não balanceado”, pois carece de capacidade técnica e de investimentos em infraestrutura para escalar projetos de maneira sustentável (KANDA et al., 2021; DE OLIVEIRA et al., 2022). Esse desequilíbrio



sofre influência direta da centralidade do Estado, que acaba suplantando o papel do mercado na mobilização de recursos e de inovação, limitando a autonomia empresarial para investir em pesquisa aplicada.

A Academia, terceira hélice, é percebida como o ator mais vulnerável nesse arranjo triplo. A fragilidade acadêmica manifesta-se pela oferta insuficiente de cursos e programas de formação em biogás, bem como pela limitada inserção de pesquisas aplicadas em cooperação com atores locais (DE OLIVEIRA; DA SILVA; KANDA, 2022). Esse déficit na formação de capital humano especializado reduz a capacidade de inovação tecnológica e de desenvolvimento de soluções adaptadas às particularidades regionais do Nordeste, perpetuando a dependência de modelos externos e de consultorias onerosas.

A insuficiência de articulação entre as três primeiras hélices reforça a necessidade de uma Quarta Hélice atuante, representada pela sociedade civil e por atores intermediários que facilitem a conexão e o diálogo entre Estado, Indústria e Academia. No contexto nordestino, organizações como o Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás) cumprem funções de articulação, capacitação técnica e mobilização social, servindo de elo entre os stakeholders (DE OLIVEIRA; DA SILVA; KANDA, 2022). A presença desses intermediários é crucial para superar barreiras de engajamento social decorrentes de falhas na governança territorial e da ausência de consultas públicas transparentes (BOURDIN; NADOU, 2020).

Em arranjos de Hélice Tríplice, sem a devida integração da sociedade, forma-se uma dinâmica de “insiders”, onde decisões são tomadas em espaços restritos, desconsiderando as percepções e demandas dos “outsiders” (sociedade), o que gera um “bloqueio discursivo” capaz de limitar a inovação real e a aceitação das tecnologias de biogás (VAN MÖLLING; BEKKERS; KEMP, 2022). Para que a Quarta Hélice seja efetiva, é necessário desenvolver mecanismos de escuta ativa e aprendizagem recíproca, estabelecendo canais de diálogo bidirecionais que permitam à comunidade rural e urbana participar da co-criação de soluções e fortalecer a legitimidade social dos projetos.

A análise comparativa com experiências internacionais fornece insights valiosos para o aprimoramento do modelo brasileiro. Na Europa, a Alemanha destaca-se pela implementação de pacotes de políticas públicas (policy mix) robustos, que combinam subsídios, mecanismos de feed-in tariff, incentivos fiscais e metas de energia renovável obrigatórias, mas enfrenta



desafios como o debate “comida vs. combustível”, que questiona o uso de biomassa para fins energéticos em detrimento da produção de alimentos (ZAHRA; WAHID; HAQUE, 2021; HORSCHIG; THRÄN, 2017). Na Ásia e na América Latina, o crescimento da indústria de biogás é prejudicado pela carência de políticas de fomento consistentes e de mecanismos de financiamento adequados, dificultando o acesso a crédito de longo prazo e a atração de investidores privados (WAHAB et al., 2022; VEGA; RIVAS; CASTILLO, 2022). A situação na Nigéria ilustra a consequência da ausência de arcabouço político e regulatório específico para o biogás, onde projetos permanecem isolados e dependentes de cofinanciamento internacional, evidenciando a urgência de políticas claras e de instrumentos normativos eficazes (BELLO; AL-AMIN; LAWAL, 2021).

No caso brasileiro, observa-se um desequilíbrio sistêmico no modelo de inovação do biogás, no qual as hélices Social e Acadêmica permanecem subdesenvolvidas. Essa lacuna institucional realça o papel dos atores intermediários como catalisadores indispensáveis para a coesão do ecossistema, já que viabilizam a articulação intersetorial, transfere conhecimentos técnicos e mobilizam recursos junto aos diferentes elos da cadeia. Todavia, a efetividade desses intermediários depende de duas dinâmicas interdependentes: (i) o fomento governamental, por meio de políticas públicas estruturadas e financiamento contínuo; e (ii) o fortalecimento da relação Universidade–Sociedade, alicerçada na co-criação, capacitação e no estabelecimento de confiança mútua para superar o bloqueio discursivo.

Essas dinâmicas podem ser sintetizadas por um arranjo triangular onde Estado, Academia e Sociedade interajam de forma equilibrada, mediada por intermediários que garantam fluxos de informação, aprendizagem e recursos. A centralidade desse arranjo destaca duas alavancas principais para o avanço do setor de biogás no Nordeste brasileiro: o desenvolvimento de um policy mix regionalizado, que considere particularidades socioeconômicas e ambientais locais, e a criação de plataformas de co-governança, capazes de articular interesses diversos em torno de metas comuns de sustentabilidade energética e inclusão social. Este modelo dinâmico de governança está representado na Figura 1, que ilustra as relações de reforço mútuo entre hélices, intermediários e mecanismos de feedback social.



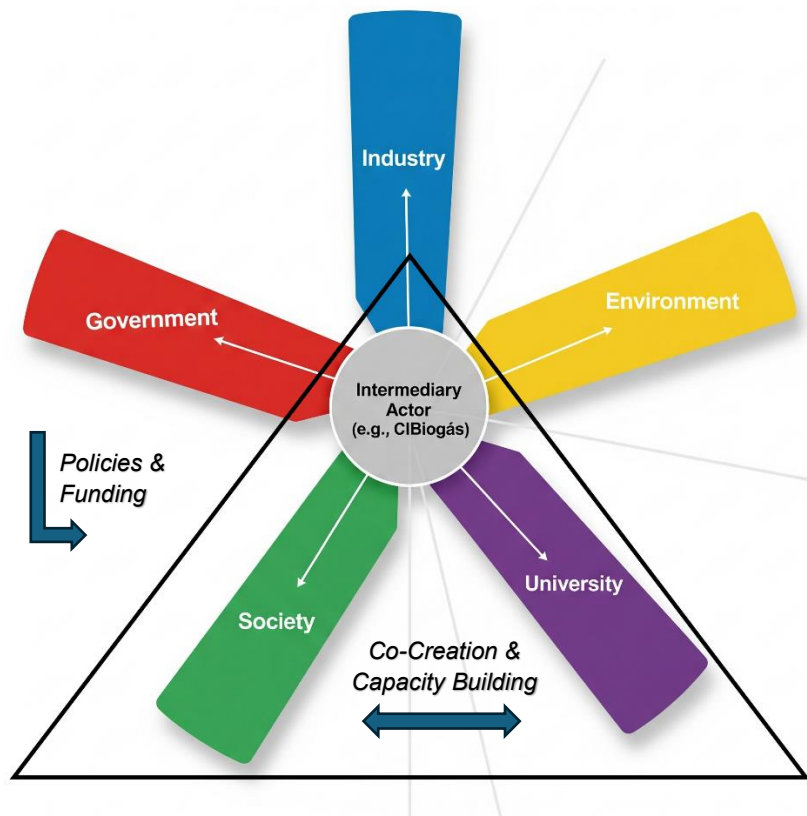


Figura 1.

5 CONCLUSÃO

A presente revisão confirma a natureza eminentemente sociotécnica dos desafios na adoção de tecnologias de biogás. A implementação de projetos frequentemente falha não por barreiras tecnológicas isoladas, mas por desconsiderar a interdependência entre os sistemas técnicos e sociais. Esta lacuna sociotécnica, manifestada na baixa aceitação e no abandono de tecnologias por falta de suporte, é um entrave crítico. Evidencia-se também que a estrutura tradicional da Hélice Tríplice, ao priorizar uma comunicação unidirecional, tende a criar um "bloqueio discursivo", sendo necessário avançar para uma Hélice Quádrupla que formalize a inclusão da sociedade.

Conclui-se, portanto, que o avanço do biogás no Brasil, em parte, depende menos da solução de entraves técnicos e mais da superação de falhas na capacitação, na articulação local e no diálogo social. O desequilíbrio do sistema, onde as hélices Social e Acadêmica se mostram



subdesenvolvidas, é um gargalo relevante a ser superado por meio de políticas públicas orientadas ao engajamento territorial.

Com base nestas constatações, a reformulação das políticas de incentivo ao biogás deve incorporar, de forma explícita, a capacitação mandatória em programas de financiamento, o fomento a consórcios universidade-empresa, o engajamento efetivo e contínuo com a sociedade, e o fortalecimento de atores intermediários como braços executores da política pública em nível local.

Por fim, este estudo, limitado a uma revisão estruturada, identificou uma lacuna na integração entre a teoria dos intermediários da inovação e o modelo das Hélices. Sugere-se, para futuras pesquisas, a realização de estudos de caso empíricos para investigar a natureza deste mecanismo de articulação e verificar se as teorias existentes são suficientes ou se as evidências justificam a proposição de um novo construto teórico.



REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS (ABIOGÁS). **O enorme potencial do biogás no Brasil**. [S. l.], 2022. Disponível em: [link suspeito removido]. Acesso em: 26 ago. 2025.

BAUMEISTER, R. F.; LEARY, M. R. Writing narrative literature reviews. **Review of General Psychology**, v. 1, n. 3, p. 311–320, 1997.

BAXTER, G.; SOMMERVILLE, I. Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. **Interacting with Computers**, v. 23, n. 1, p. 4-17, 2011.

BELLO, A. S.; AL-AMIN, M. A.; LAWAL, N. Benchmarking and Multi-Criteria Decision Analysis Towards Developing a Sustainable Policy of Just in Time Production of Biogas in Nigeria. **FUDMA Journal of Sciences**, v. 5, n. 2, p. 191-198, 2021.

BOURDIN, S.; NADOU, F. Understanding the problems of biogas production deployment in different regions: territorial governance matters too. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 63, n. 9, p. 1655-1673, 2020.

CARAYANNIS, E. G.; BARTH, T. D.; CAMPBELL, D. F. J. The Quintuple Helix innovation model: global warming, the environment and the public sphere. **Journal of Innovation and Entrepreneurship**, v. 1, n. 1, 2012.

CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. J. 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem. **International Journal of Technology Management**, v. 46, n. 3-4, p. 201-234, 2009.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS–BIOGÁS (CIBIOGÁS); ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS (ABIOGÁS). **Panorama do Biogás no Brasil 2022**. Nota Técnica, [S. l.], 2023. Disponível em: https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2023/10/NT-Panorama-do-Biogas-2022_final-1.pdf. Acesso em: 26 ago. 2025.

DA SILVA, Andressa C. P.; NÓBREGA, Yanna K. M. Biogás: uma forma de energia limpa e renovável em meio a uma crise mundial ambiental. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIAS (CIET) & I ENCONTRO DE PESQUISADORES EM EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (EnPED), 2018, São Carlos. **Anais...** São Carlos, SP, 2018.



DA SILVA, Andressa C. P.; DOS SANTOS, Marcio Antonio. Proposta de alternativa para a adequação dos pequenos municípios à Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Iberoamerican Journal of Project Management**, v. 12, n. 2, p. 16-33, 2021.

DA SILVA, Thaisa Galdino *et al.* Current advances in the brewery wastewater treatment from anaerobic digestion for biogas production: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 388, p. 135919, 2023.

DA SILVA, Thaisa Galdino *et al.* Valorization of cassava residues for biogas production in Brazil based on the circular economy: An updated and comprehensive review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 2, p. 109405, 2023.

DA SILVA, Thaisa Galdino *et al.* Biogas energy recovery in Brazilian wastewater treatment plants: A multi-level perspective on technological transition. **Journal of Cleaner Production**, v. 434, p. 139943, 2024.

DE OLIVEIRA, L. G. S.; NEGRO, S. O. Contextual structures and interaction dynamics in the Brazilian Biogas Innovation System. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 107, p. 462-481, 2019.

DE OLIVEIRA, Luiz Gustavo Silva. The biogas transition in Brazil: The role and impacts of policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 113, p. 109242, 2019.

DE OLIVEIRA, L. G. S. *et al.* Policy coherence in a fragmented context: the case of biogas systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 124237, 2020.

DE OLIVEIRA, Luiz Gustavo Silva; NEGRO, Simona O. A trajetória política do biogás no Brasil sob a ótica da perspectiva multinível (PMN). **REGEPE - Revista de Empreendedorismo e Gestão de Pequenas Empresas**, v. 9, n. 3, p. 1-28, 2020.

DE OLIVEIRA, Luiz Gustavo Silva; DA SILVA, Thaisa Galdino; VALLE, Maurício R. Formação de nichos tecnológicos e asecoinovações: o caso do CIBiogás na Itaipu Brasil. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 11, p. 1-26, 2021.

DE OLIVEIRA, Luiz Gustavo S. *et al.* Scaling actors' perspectives about innovation system functions: Diffusion of biogas in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 375, p. 134114, 2022.



DE OLIVEIRA, Luiz Gustavo Silva; DA SILVA, Thaisa Galdino; KANDA, Wisdom. The Role of Intermediaries in Sociotechnical Transitions: A Systematic Framework Towards Sustainability Management. **Sustainability**, v. 14, n. 23, p. 15840, 2022.

DE OLIVEIRA, Luiz Gustavo Silva *et al.* Geração distribuída do biogás e políticas públicas: uma revisão para o desenvolvimento de um setor estratégico para o Brasil. **ForScience**, v. 11, n. 2, p. e01132, 2023.

DE OLIVEIRA, Luiz Gustavo Silva *et al.* The Role of the Triple Helix Model in Promoting the Circular Economy: Government-Led Integration Strategies and Practical Application. **Sustainability**, v. 16, n. 8, p. 3302, 2024.

DOS SANTOS, Marcio Antonio *et al.* Generation of Renewable Energy (Biogas) in the Western Region of Paraná-Brazil: A Multicase Study from the Viewpoint of Contracts. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 12, p. 11-21, 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2024: Ano base 2023**. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 26 ago. 2025.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The Triple Helix—University-industry-government relations: a laboratory for knowledge-based economic development. **Research Policy**, v. 24, n. 2, p. 1-19, 1995.

GEELS, F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. **Research Policy**, v. 31, n. 8-9, p. 1257-1274, 2002.

HEKKERT, M. P. *et al.* Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 74, n. 4, p. 413-432, 2007.

HORSCHIG, Thomas; THRÄN, Daniela. Governance of sustainability in the German biogas sector—adaptive management of the Renewable Energy Act between agriculture and the energy sector. **Energy, Sustainability and Society**, v. 7, n. 13, 2017.

HORSCHIG, Thomas *et al.* Stakeholder perceptions about sustainability governance in the German biogas sector. **Energy, Sustainability and Society**, v. 10, n. 36, 2020.



INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Investment 2023**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2023>. Acesso em: 26 ago. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

JENSEN, C.; TRÄGÅRDH, B. What Constitutes Failure? The Influence of Public Interests in Securing Accountability in Triple Helix Initiatives. **Science and Public Policy**, v. 31, n. 5, p. 367-376, 2004.

KANDA, Wisdom *et al.* Circular economy, varieties of capitalism and technology diffusion: Anaerobic digestion in Sweden and Paraná. **Journal of Cleaner Production**, v. 307, p. 127271, 2021.

MÜHL, B. A.; DE OLIVEIRA, B. G. Features of anaerobic digestion plants in the Brazilian agricultural sector. **Renewable Energy**, v. 196, p. 431-438, 2022.

PINHEIRO, R. L.; BORSATO, M. Territorial management for an appropriate technological choice: the case of CIH and CIBiogás projects in Parana 3 River Basin, Parana, Brazil. **Gestão & Produção**, v. 27, n. 2, p. e4808, 2020.

SACHSENDAHL, Julia *et al.* Biogas policies and production development in Europe: a comparative analysis of eight countries. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2021.

VAN MÖLLING, F. J.; BEKKERS, V. J. J. M.; KEMP, R. Hearing, listening, and learning: how bioeconomy triple helix clusters deal with uninvited societal input. **Triple Helix**, v. 9, n. 1, p. 17-38, 2022.

VEGA, Katherine; RIVAS, Maykel; CASTILLO, Edgar. Biofuel production in Latin America: A review for Argentina, Brazil, Mexico, Chile, Costa Rica and Colombia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 157, p. 112046, 2022.

WAHAB, A. *et al.* Biogas as sustainable approach for social uplift in South East Asian Region. **Energy, Ecology & Environment**, v. 7, p. 38-47, 2022.



ZAHRA, Nida; WAHID, Abdul; HAQUE, Anam. A critical review of biogas production and usage with legislations framework across the globe. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 51336–51364, 2021.

