



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia
de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

**Inovação em Modelos de Negócio no Setor de Energia: Caminhos para
a Transição Energética e a Descarbonização no Brasil**

**Innovation in Energy Sector Business Models: Pathways for the
Energy Transition and Decarbonization in Brazil**

**Innovación en Modelos de Negocio del Sector Energético: Caminos
para la Transición Energética y la Descarbonización en Brasil**

Vitória Corradini Prado

Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo (vitoriacprado@usp.br)

Prof. Dr. Herlandi de Souza Andrade

Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo (herlandi@usp.br)

Resumo

A crescente demanda por soluções sustentáveis tem impulsionado o setor de energia a adotar novas estratégias voltadas à redução de emissões e à transição para fontes renováveis. Nesse contexto, a inovação em modelos de negócio tem se mostrado um elemento essencial para conciliar competitividade, eficiência e responsabilidade ambiental. Este artigo tem como objetivo analisar como a inovação em modelos de negócio contribui para a expansão das fontes renováveis e para a descarbonização no setor energético brasileiro. A pesquisa, de caráter bibliográfico e exploratório, aborda as principais transformações nas estruturas empresariais, destacando o surgimento de modelos como *Energy-as-a-Service (EaaS)*, *Power Purchase Agreements (PPAs)* e geração distribuída (GD). Os resultados evidenciam que a reformulação dos modelos de negócio permite ampliar investimentos em energia limpa e reduzir emissões sem



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

comprometer o desempenho econômico das empresas. Conclui-se que a inovação empresarial representa um vetor decisivo para a transição energética, favorecendo o fortalecimento do setor e contribuindo para a consolidação de uma economia de baixo carbono.

Palavras-chave: inovação; modelos de negócio; energia renovável; descarbonização; transição energética.

Abstract

The growing demand for sustainable solutions has driven the energy sector to adopt new strategies aimed at reducing emissions and transitioning to renewable sources. In this context, business model innovation has emerged as an essential element to reconcile competitiveness, efficiency, and environmental responsibility. This article aims to analyze how innovation in business models contributes to the expansion of renewable energy sources and to decarbonization in the Brazilian energy sector. This bibliographic and exploratory research examines the main transformations in corporate structures, highlighting the emergence of models such as Energy-as-a-Service (EaaS), Power Purchase Agreements (PPAs), and distributed generation (DG). The results show that reconfiguring business models expands investments in clean energy and reduces emissions without compromising companies' economic performance. It is concluded that business innovation represents a decisive vector for the energy transition, strengthening the sector and contributing to the consolidation of a low-carbon economy.

Keywords: innovation; business models; renewable energy; decarbonization; energy transition.

Resumen

La creciente demanda por soluciones sostenibles ha impulsado al sector energético a adoptar nuevas estrategias orientadas a la reducción de emisiones y a la transición hacia fuentes renovables. En este contexto, la innovación en modelos de negocio se ha mostrado como un elemento esencial para conciliar competitividad, eficiencia y responsabilidad ambiental. Este artículo tiene como objetivo analizar cómo la innovación en los modelos



de negocio contribuye a la expansión de las fuentes renovables y a la descarbonización en el sector energético brasileño. La investigación, de carácter bibliográfico y exploratorio, aborda las principales transformaciones en las estructuras empresariales, destacando la aparición de modelos como *Energy-as-a-Service (EaaS)*, *Power Purchase Agreements (PPAs)* y generación distribuida (GD). Los resultados evidencian que la reformulación de los modelos de negocio permite ampliar las inversiones en energía limpia y reducir emisiones sin comprometer el desempeño económico de las empresas. Se concluye que la innovación empresarial representa un vector decisivo para la transición energética, favoreciendo el fortalecimiento del sector y contribuyendo a la consolidación de una economía baja en carbono.

Palabras clave: innovación; modelos de negocio; energía renovable; descarbonización; transición energética.

1. INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia mais limpas e eficientes tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionada pela necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os impactos das mudanças climáticas. Essa transformação estrutural, conhecida como transição energética, desafia empresas e governos a repensarem a forma como a energia é gerada, distribuída e consumida. Relatórios recentes, como o World Energy Outlook 2023 (IEA, 2023) e o World Energy Transitions Outlook 2024 (IRENA, 2024), evidenciam que a transição para fontes renováveis deixou de ser uma tendência futura para tornar-se um movimento estrutural e prioritário em diversos países. Nesse cenário, a inovação em modelos de negócio surge como um fator decisivo para viabilizar a descarbonização e garantir a sustentabilidade econômica do setor.

Estudos reforçam que a transição energética exige uma reconfiguração das estratégias empresariais, com foco na criação de novas propostas de valor e na capacidade de inovação por parte das empresas. Mihailova et al. (2023) destacam que a redefinição dos modelos de negócio é um dos pilares centrais dessa transformação, uma vez que os modelos tradicionais já não respondem adequadamente às exigências de flexibilidade,



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

competitividade e sustentabilidade do setor elétrico contemporâneo. Nesse mesmo sentido, Papapostolou et al. (2025) aponta que a integração de tecnologias digitais e soluções de ponta tem impulsionado práticas inovadoras capazes de acelerar a descarbonização e gerar eficiência operacional.

Além dos fatores tecnológicos e econômicos, o debate sobre a transição energética envolve também dimensões sociais e territoriais que moldam a forma como novos modelos de negócio surgem e se consolidam. Estudos recentes indicam que a expansão das energias renováveis está associada à reconfiguração de cadeias produtivas, à criação de novas ocupações e ao fortalecimento de atividades econômicas locais (Rolando & Ingriana, 2024). Esse movimento demonstra que a transição energética não se limita à substituição de fontes, mas implica transformações amplas nos sistemas produtivos, nos padrões de consumo e na organização dos mercados. Reconhecer essas dinâmicas é essencial para compreender o contexto no qual diferentes modelos de negócio se desenvolvem e ganham relevância.

No contexto brasileiro, a necessidade de inovação em modelos de negócio torna-se ainda mais evidente. Apesar de possuir uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo e amplo potencial de expansão em fontes como energia solar e eólica, o país enfrenta desafios relacionados à modernização da infraestrutura, ao financiamento de novos projetos e aos marcos regulatórios, conforme apresentado no Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (MME, 2024) e no Balanço Energético Nacional 2024 (EPE, 2024). Iniciativas recentes do próprio governo, como os estudos sobre modelos de negócio para geração distribuída social (MME, 2023), demonstram o reconhecimento dessas barreiras e a urgência em avançar para soluções inovadoras.

Diante desse cenário, este artigo analisa como a inovação em modelos de negócio no setor de energia pode contribuir para a expansão das fontes renováveis e para o avanço da descarbonização, utilizando experiências internacionais como referência de comparação. Parte-se da hipótese de que modelos de negócio inovadores, apoiados por políticas públicas adequadas, avanços tecnológicos e estruturas regulatórias claras, desempenham

um papel determinante na consolidação de sistemas energéticos sustentáveis e apresentam grande potencial de aplicação no contexto brasileiro.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Transição Energética e Descarbonização Global

A transição energética tem se consolidado como um dos principais eixos do desenvolvimento sustentável no século XXI, impulsionado simultaneamente por pressões ambientais, avanços tecnológicos, transformações no mercado de energia e mudanças geopolíticas. Estudos recentes mostram que mais de 80% dos novos investimentos globais em geração elétrica em 2023 foram direcionados para fontes renováveis, enquanto a capacidade instalada de solar fotovoltaica cresceu mais rápido do que qualquer outra tecnologia na história da energia moderna (IEA, 2023). Além disso, avanços tecnológicos e reduções de custo tornaram a energia solar e eólica mais competitivas, contribuindo para que a descarbonização ganhe espaço tanto em políticas públicas quanto em estratégias empresariais (IRENA, 2024).

No campo teórico, a transição energética é compreendida como uma mudança sistêmica que transforma não apenas a matriz de geração, mas também cadeias produtivas, padrões de consumo, fluxos de valor e estruturas organizacionais. Mihailova et al. (2023) destacam que esse processo exige a reformulação dos modelos de negócio tradicionais, que se tornam insuficientes para lidar com sistemas energéticos mais dinâmicos, distribuídos e digitalizados. Os autores argumentam que a transição ocorre em camadas simultâneas: tecnológica (novas fontes e sistemas de armazenamento), institucional (regulação e governança), econômica (novas formas de precificação e investimento) e social (participação ativa do consumidor).

Do ponto de vista tecnológico, a combinação de energia eólica, solar e sistemas avançados de armazenamento tem alterado de forma significativa a operação dos sistemas elétricos. Em muitos países, o custo nivelado da energia solar e eólica já é inferior ao de tecnologias fósseis, resultado direto da evolução industrial e da competitividade crescente dessas fontes. Segundo o IRENA (2024), o preço dos módulos fotovoltaicos caiu mais de



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

80% desde 2010, impulsionado por ganhos de escala e melhorias tecnológicas, enquanto as turbinas eólicas tornaram-se mais eficientes e acessíveis. Papapostolou et al. (2025) reforçam que a digitalização acelera esse processo ao integrar redes inteligentes, plataformas de flexibilidade, sensores em tempo real e sistemas avançados de gestão de energia, tornando o setor mais dinâmico e descentralizado.

Sob a perspectiva socioeconômica, a expansão das renováveis estimula cadeias produtivas locais e cria empregos verdes, contribuindo para que a descarbonização tenha impacto além da esfera ambiental. Como apontam Rolando & Ingriana (2024), essas mudanças proporcionam novas oportunidades de inovação e reconfiguração industrial. Nesse cenário, a transição energética deve ser vista como um fenômeno multidimensional, que combina fatores tecnológicos, regulatórios, econômicos e sociais, e que requer modelos de negócio capazes de sustentar essa nova realidade.

2.2 O Setor Energético no Brasil

O Brasil ocupa uma posição de destaque no cenário global da transição energética por possuir uma das matrizes mais renováveis do mundo. Segundo o Balanço Energético Nacional 2024 (EPE, 2024), cerca de 47% da oferta de energia do país provém de fontes limpas. A geração hidrelétrica continua sendo a principal fonte do país, mas nas últimas duas décadas observou-se um crescimento expressivo das fontes eólica, solar e de biomassa, impulsionado pela queda nos custos tecnológicos e pela ampliação das políticas de incentivo. Essa diversificação tem sido fundamental para reduzir a dependência de períodos de chuva, aumentar a segurança energética e atender à crescente demanda de forma mais sustentável.

Entre os mecanismos de estímulo à expansão das renováveis encontram-se os leilões de energia, a regulamentação da geração distribuída e a ampliação do mercado livre de energia, instrumentos que favorecem o surgimento de modelos de negócio mais flexíveis e competitivos (MME, 2023). Nesse contexto, empresas como Engie Brasil Energia e Neoenergia têm expandido seus portfólios por meio de *Power Purchase Agreements (PPAs)* corporativos e projetos híbridos solar-eólica (ENGIE Brasil Energia, 2024;



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Neoenergia, 2024). A Eletrobras, por sua vez, tem direcionado investimentos à digitalização e modernização de usinas, buscando elevar eficiência e confiabilidade do sistema elétrico nacional (Eletrobras, 2024).

Estudos acadêmicos recentes reforçam que o avanço da geração distribuída tem transformado o papel dos consumidores, que agora participam como *prosumidores* — tanto consumidores quanto produtores de energia. Souza, Lima & Almeida (2021) e Firmeza et al. (2024) indicam que esse fenômeno exige adaptações regulatórias, plataformas de mercado e modelos de negócio mais ágeis. Mesmo com esse potencial, o Brasil ainda enfrenta desafios estruturais: infraestrutura de transmissão insuficiente, necessidade de maior armazenamento, integração regional e previsibilidade regulatória (EPE, 2024; MME, 2024). Dessa forma, embora o país conte com vantagens naturais e setoriais, sua capacidade de transformar potencial renovável em vantagem competitiva depende da inovação, tanto tecnológica quanto regulatória e empresarial.

Além disso, a presença de grandes empresas multinacionais, como Enel, Engie, Shell e Iberdrola, exerce influência direta sobre o ritmo e a direção das estratégias de descarbonização no país. As metas e políticas definidas por suas matrizes no exterior moldam decisões de investimento, prioridades tecnológicas e padrões de gestão adotados pelas subsidiárias brasileiras. Essa relação tem favorecido a difusão de práticas inovadoras e a introdução de modelos de negócio adaptados à realidade local, reforçando o papel do Brasil como protagonista da transição energética na América Latina (ENEL, 2023; SHELL, 2024).

Nos últimos anos, o país tem buscado equilibrar crescimento econômico, segurança do abastecimento e sustentabilidade ambiental, desafios que exigem planejamento de longo prazo e coordenação entre os setores público e privado. O avanço das energias renováveis, aliado à abertura gradual do mercado e à adoção de tecnologias digitais, coloca o Brasil em posição estratégica para liderar a transição na região. Contudo, a efetividade desse processo depende de maior previsibilidade regulatória, incentivos à inovação e investimentos em infraestrutura, de modo a transformar o potencial renovável nacional em vantagem competitiva sustentável (EPE, 2024).

2.3 Modelos de Negócio no Setor de Energia

Historicamente, o setor de energia foi estruturado sob modelos de negócio centralizados e verticalizados, nos quais as etapas de geração, transmissão e distribuição eram concentradas em grandes empresas estatais ou concessionárias privadas. Essa lógica predominou por décadas, sustentada por altos custos de infraestrutura, forte regulação estatal e um mercado orientado à estabilidade do abastecimento. Entretanto, estudos recentes mostram que essa estrutura rígida e dependente de investimentos de grande escala tornou-se limitada diante das novas demandas por flexibilidade, eficiência, sustentabilidade e digitalização que passaram a moldar o setor nas últimas décadas (Mihailova et al., 2023; Papapostolou et al., 2025).

A incorporação crescente de fontes renováveis, associada ao avanço das tecnologias digitais e ao fortalecimento de políticas de incentivo, tem impulsionado uma transformação profunda nos modelos de negócio. As empresas passaram a buscar formas mais dinâmicas de criar e capturar valor, deslocando o foco tradicional da oferta de energia como produto para abordagens que enfatizam serviços, experiência do cliente e geração de valor compartilhado. Essa transição exige novos arranjos estratégicos, mais alinhados à descentralização e à descarbonização, conforme defendem Osterwalder e Pigneur (2010), ao destacarem que inovações em modelos de negócio dependem de compreender como a organização entrega valor e como se diferencia em mercados em transformação.

Nesse contexto, o modelo *Energy-as-a-Service (EaaS)* tem se consolidado como um dos mais representativos dessa mudança. O EaaS transforma o fornecimento de energia em um serviço contínuo orientado ao desempenho, em que o cliente passa a pagar pelos resultados obtidos — como eficiência energética e redução de custos operacionais. O desenvolvimento desse formato tem sido potencializado pela digitalização, que permite monitoramento remoto, análise de dados em tempo real e gestão inteligente de ativos. Relatórios e análises recentes apontam que a combinação entre plataformas digitais e soluções sob demanda está acelerando a adoção do EaaS (MIT Sloan Management Review Brasil, 2023; Papapostolou et al., 2025).



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Os *Power Purchase Agreements (PPAs)* também se destacam como instrumentos essenciais para promover a expansão das fontes renováveis. Ao oferecer previsibilidade de preços e segurança financeira para projetos solares e eólicos, esses contratos reduzem riscos tanto para geradores quanto para consumidores corporativos. No Brasil, a ampliação do mercado livre e a consolidação de boas práticas contratuais têm fortalecido o papel dos PPAs na viabilização de investimentos, especialmente com o apoio de diretrizes nacionais que orientam modelos mais flexíveis e eficientes (CEBDS; WBCSD, 2020). Além dos PPAs tradicionais, observa-se o surgimento de arranjos híbridos que combinam geração, armazenamento e serviços digitais.

Outra dimensão fundamental dessa transformação é a expansão da geração distribuída (GD) e o surgimento dos *prosumers*, consumidores que também produzem energia. A popularização de sistemas fotovoltaicos e o aprimoramento do marco regulatório brasileiro estimularam a adoção dessa modalidade, permitindo que residências, empresas e cooperativas passem a gerar parte da própria eletricidade. Pesquisas recentes destacam que esse movimento não apenas descentraliza a matriz elétrica, mas também fortalece o engajamento social e ambiental dos consumidores (Bezerra; Silva, 2024; Firmeza et al., 2024; De Souza; Lima; Almeida, 2021).

Além disso, a evolução das plataformas digitais, das redes inteligentes e de tecnologias como inteligência artificial, *big data* e sistemas transacionais avançados tem possibilitado o surgimento de modelos cooperativos e *peer-to-peer*. Esses arranjos conectam diretamente produtores e consumidores, ampliando a transparência das transações e promovendo um mercado mais participativo. Estudos contemporâneos mostram que a integração entre soluções digitais e inovação em modelos de negócio abre espaço para novos entrantes, amplia a eficiência dos sistemas e favorece a difusão de práticas mais sustentáveis (Mihailova et al., 2023; Fuentes, 2025).

Nesse cenário, a inovação deixa de ser apenas um complemento tecnológico e passa a ocupar uma posição central na estratégia das empresas do setor energético. A digitalização, a automação e a descentralização promovem novos arranjos de geração de valor, permitindo que organizações explorem novas fontes de receita, otimizem processos



e ofereçam soluções mais adaptadas às necessidades dos consumidores. Assim, os modelos de negócio inovadores assumem papel fundamental na modernização do setor, ao integrar desempenho econômico e sustentabilidade, ao mesmo tempo em que ampliam o acesso às fontes renováveis e apoiam a consolidação de um sistema energético mais flexível, eficiente e orientado ao futuro.

2.4 Desafios Internos, Externos e a Influência das Matrizes Globais

A implementação de modelos de negócio inovadores no setor de energia enfrenta um conjunto de desafios internos e externos que influenciam diretamente o ritmo da transição para fontes renováveis. Estudos recentes mostram que setores historicamente regulados, como o de energia, tendem a apresentar maior resistência à mudança e menor flexibilidade para incorporar soluções digitais e descentralizadas (Strategic Framework for Sustainable Business Models in the Energy Sector, 2024). Esse cenário é reforçado pela necessidade crescente de competências técnicas relacionadas à digitalização, análise de dados e gestão de sistemas distribuídos.

No ambiente interno, os principais obstáculos estão ligados à estrutura organizacional tradicional das empresas, à resistência cultural a mudanças e à falta de profissionais capacitados para atuar com novas tecnologias. Como destaca Fuentes (2025), a introdução de soluções baseadas em digitalização, automação e serviços personalizados requer competências técnicas e gerenciais mais amplas, além de uma cultura voltada à inovação contínua. Muitas companhias ainda mantêm processos hierarquizados e decisões lentas, o que limita a flexibilidade e dificulta a adoção de práticas mais colaborativas e integradas.

No ambiente externo, os desafios regulatórios continuam sendo um dos principais fatores que condicionam o ritmo da inovação, atrelados a fatores financeiros e estruturais. A previsibilidade das regras e incentivos é essencial para viabilizar investimentos e a expansão de modelos como os PPAs e a geração distribuída. Em países emergentes, a falta de instrumentos regulatórios específicos e a lentidão na adequação das normas podem limitar a adoção de tecnologias e práticas mais avançadas. Além disso, o custo de



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

capital elevado, a limitação da infraestrutura de transmissão e a ausência de sistemas de armazenamento em escala representam entraves significativos. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), a falta de políticas integradas entre governos e setor privado nos países emergentes tem atrasado a difusão de inovações energéticas, mesmo quando há potencial técnico e recursos disponíveis.

Outro aspecto relevante diz respeito à influência das matrizes globais sobre as subsidiárias que atuam no Brasil. Empresas como Enel, Neoenergia (ligada ao grupo Iberdrola) e Shell Energy seguem diretrizes corporativas internacionais que definem metas de redução de emissões e orientam investimentos em tecnologias limpas (ENEL, 2024; SHELL, 2024; ENGIE BRASIL ENERGIA, 2024; NEOENERGIA, 2024). Esse alinhamento global favorece a transferência de conhecimento, o acesso a capital e a adoção de práticas de gestão mais modernas. Por outro lado, pode gerar descompasso entre as metas globais e as condições locais, especialmente em contextos de instabilidade econômica e regulatória. Muitas subsidiárias precisam adaptar suas estratégias de inovação e sustentabilidade para equilibrar os compromissos corporativos com as realidades regionais, tornando a gestão da inovação um processo de constante negociação entre padronização e flexibilidade.

Dessa forma, os desafios da transição energética brasileira vão muito além da dimensão tecnológica e demandam a integração entre estratégias globais e realidades locais. É necessária uma integração efetiva, com coordenação institucional, estabilidade política e incentivos à inovação. O fortalecimento da cooperação entre empresas, governo e sociedade ainda se mostra como um desafio, mas é aspecto fundamental para garantir uma transição que una eficiência econômica, sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico, pilares de um setor energético moderno e competitivo.

2.5 Tendências e Perspectivas para a Inovação em Modelos de Negócio Energéticos

As transformações em curso no setor energético apontam para a consolidação de um sistema cada vez mais digitalizado, descentralizado e orientado à eficiência. A



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

digitalização tem permitido o uso de dados em tempo real, inteligência artificial e automação de redes, promovendo o surgimento de modelos de negócio baseados em previsibilidade, integração e personalização de serviços. A implementação de redes inteligentes (“*smart grids*”) e de usinas virtuais (“*virtual power plants*”) amplia a capacidade de gestão de energia distribuída, conectando pequenas fontes renováveis a sistemas centralizados de controle (GAO et al., 2024; Lee & Kim, 2023). Paralelamente, o armazenamento energético, por meio de baterias e tecnologias associadas ao hidrogênio verde, surge como fator estratégico para superar a intermitência das fontes renováveis e viabilizar novos arranjos de comercialização. Nesse contexto, os contratos de longo prazo (PPAs) tendem a evoluir para estruturas híbridas e flexíveis, combinando geração, serviços e soluções financeiras adaptadas ao perfil do consumidor (IEA, 2025).

Outra tendência relevante é o fortalecimento dos modelos colaborativos e participativos, impulsionados pela ascensão dos *prosumers* e pela integração de inovação aberta nas empresas do setor. O consumidor passa a ocupar um papel mais ativo, não apenas adquirindo energia, mas também produzindo, armazenando e negociando excedente. Autores como Firmeza et al. (2024) e Souza, Lima & Almeida (2021) destacam que essa descentralização amplia a necessidade de modelos de negócio que incorporem plataformas digitais e soluções *peer-to-peer*, e integrem tecnologia digital e novos padrões de consumo, reforçando o papel do consumidor como agente central na transição energética. Ao mesmo tempo, cresce a formação de ecossistemas de inovação, que reúnem empresas, startups e instituições de pesquisa em processos de cocriação tecnológica.

Fuentes (2025) aponta que, à medida que a digitalização avança, modelos de negócio antes distintos começam a convergir, apoiando-se na interoperabilidade entre dados, sensores, softwares e redes inteligentes. Essa convergência reforça a relevância de práticas que combinam inovação tecnológica, conectividade e oferta de serviços integrados.

O ambiente de financiamento também passa por mudanças relevantes. Instrumentos como *green bonds*, fundos de transição energética e PPAs estruturados têm ampliado o acesso

a capital para projetos renováveis e acelerado o desenvolvimento de soluções voltadas à descarbonização. Esses mecanismos se fortalecem em um contexto de crescente pressão por sustentabilidade por parte de governos, investidores e consumidores, criando condições favoráveis para modelos de negócio mais modernos e resilientes. Assim, as tendências atuais indicam um futuro em que a inovação em modelos de negócio será essencial não apenas para a viabilidade econômica do setor, mas também para a aceleração da descarbonização e da segurança energética global.

3. MÉTODO

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa qualitativa, exploratória e de caráter bibliográfico, estruturada para compreender de forma abrangente como a inovação em modelos de negócio tem contribuído para o avanço das energias renováveis e para a descarbonização no setor energético. A escolha desse tipo de abordagem se justifica pela necessidade de reunir, interpretar e integrar conhecimento já consolidado em publicações científicas e documentos setoriais, permitindo analisar tendências ao mesmo tempo em que se compreende a realidade brasileira dentro de um cenário global de transformação.

A construção da pesquisa ocorreu em etapas. A primeira consistiu na identificação e seleção de conceitos fundamentais relacionados à transição energética, descarbonização, inovação organizacional e modelos de negócio aplicados ao setor de energia. Para isso, foram consultadas bases acadêmicas amplamente reconhecidas, como ScienceDirect, Scopus, Google Scholar e SciELO, além de relatórios internacionais produzidos pela Agência Internacional de Energia (IEA) e pela Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA). Esse levantamento serviu de base para definir o escopo teórico do artigo e estabelecer uma visão clara das principais discussões que orientam o tema no cenário atual.

Em seguida, foi realizada uma análise direcionada aos modelos de negócio mais relevantes para o contexto energético contemporâneo, como Energy-as-a-Service (EaaS), Power Purchase Agreements (PPAs), geração distribuída (GD), comunidades de energia e plataformas digitais voltadas à descentralização. Essa etapa envolveu o exame de



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

estudos científicos, relatórios empresariais e publicações institucionais, com ênfase em compreender como essas estratégias vêm sendo implementadas, quais resultados têm produzido e de que forma dialogam com as metas de descarbonização e modernização do setor.

A etapa seguinte foi a contextualização do cenário brasileiro. Foram reunidos documentos oficiais, como os relatórios do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), além de estudos elaborados por empresas que atuam no país, incluindo Enel, Engie, Neoenergia, Shell e Iberdrola. Esse material permitiu identificar desafios, oportunidades e características específicas do mercado nacional, possibilitando relacionar o estado atual da inovação no Brasil com referências internacionais.

Por fim, foi realizada uma etapa de síntese interpretativa. Os conteúdos coletados foram organizados por temas centrais, e as informações provenientes da literatura científica e dos relatórios técnicos foram comparadas entre si. Esse processo permitiu identificar padrões, convergências e particularidades nas abordagens adotadas em diferentes contextos, criando uma base sólida para a análise apresentada nos resultados e discussões do artigo. Dessa forma, a metodologia adotada possibilitou construir uma visão integrada sobre o papel da inovação em modelos de negócio na transição energética, conectando fundamentos teóricos, práticas corporativas e especificidades do setor elétrico brasileiro.

4. RESULTADOS

A revisão bibliográfica realizada permitiu identificar um conjunto amplo de resultados sobre como a inovação em modelos de negócio tem influenciado a transição energética em diferentes países, destacando padrões, diferenças estruturais e tendências emergentes. A análise evidenciou que, embora exista uma orientação global marcada pela digitalização, descentralização e busca por eficiência, cada país apresenta um ritmo e um grau de maturidade próprio, moldado por fatores como infraestrutura, estabilidade regulatória e capacidade tecnológica. Esse panorama permitiu comparar a evolução internacional com a realidade brasileira, revelando aproximações, distanciamentos e oportunidades de avanço.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Um primeiro resultado relevante da análise refere-se ao papel das tecnologias digitais e da modernização das infraestruturas energéticas. Em mercados mais maduros, observou-se a presença consolidada de redes inteligentes, sensores integrados, sistemas de armazenamento e plataformas capazes de gerenciar dados em grande escala. Esses elementos sustentam modelos de negócio que operam com alto nível de automação e flexibilidade. No Brasil, embora tais tecnologias já estejam em expansão, o processo ocorre de forma gradual, com maior presença em projetos de grande porte e menor integração entre consumidores e fornecedores. Isso demonstra que o país avança, mas ainda precisa ampliar sua base tecnológica para acompanhar plenamente o padrão internacional.

A pesquisa também identificou diferenças relevantes no grau de adoção dos modelos de negócio analisados. O *Energy-as-a-Service* (EaaS) já aparece em estágios avançados em países onde automação, inteligência artificial e plataformas digitais estão amplamente difundidas. No Brasil, apesar de iniciativas importantes no setor industrial, o modelo permanece concentrado em segmentos específicos e ainda não alcança ampla disseminação. Esse contraste mostra que, enquanto outros mercados operam com serviços energéticos mais maduros, o país ainda está consolidando as bases necessárias para sua expansão.

Os resultados referentes aos *Power Purchase Agreements* (PPAs) apresentaram dinâmicas semelhantes. Em muitos países, esses contratos se tornaram instrumentos centrais para a viabilização de projetos renováveis, integrando geração, armazenamento e serviços complementares. No Brasil, embora os PPAs tenham crescido significativamente, sua adoção ainda se concentra em grandes consumidores e segue formatos mais tradicionais. A comparação indica que o país acompanha as tendências internacionais, mas ainda enfrenta barreiras regulatórias, financeiras e técnicas que dificultam um avanço mais abrangente.

A análise da geração distribuída (GD) evidenciou diferenças ainda mais marcantes entre os contextos. Em mercados internacionais, a GD já opera com plataformas *peer-to-peer*, armazenamento integrado, comunidades de energia e forte participação do consumidor.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

No Brasil, o crescimento da GD foi impulsionado sobretudo pela energia solar fotovoltaica em sistemas individuais, com avanço acelerado, porém ainda limitado pela falta de integração digital e pela ausência de modelos coletivos mais sofisticados. Isso indica que o país possui grande potencial de evolução, mas depende de avanços regulatórios e tecnológicos para ampliar a complexidade e a escala das soluções adotadas.

Outro resultado importante emergiu da análise das empresas multinacionais que atuam no Brasil. As matrizes globais têm desempenhado papel relevante na disseminação de tecnologias e práticas relacionadas à descarbonização e à digitalização. No entanto, observou-se que essas diretrizes precisam ser adaptadas ao contexto brasileiro, devido às diferenças estruturais e regulatórias do setor elétrico nacional. Assim, embora o alinhamento global acelere a modernização, ele também exige ajustes que afetam o ritmo de implementação das estratégias.

A pesquisa também identificou fatores econômicos e institucionais que influenciam a adoção dos modelos inovadores. Em países com maior estabilidade regulatória e presença de instrumentos de financiamento verde, a expansão de soluções inovadoras ocorre de maneira mais fluida. No Brasil, essas ferramentas ainda estão em desenvolvimento, o que impacta a viabilidade financeira e operacional de iniciativas mais complexas. Isso ajuda a explicar por que muitos avanços acontecem de forma gradual e concentrada em setores específicos do mercado.

Por fim, o conjunto de resultados mostra que o Brasil avança na direção das principais tendências globais da transição energética, mas em ritmo desigual. O país combina práticas modernas, como PPAs competitivos e expansão acelerada da energia solar, com estruturas tradicionais e desafios regulatórios que limitam a consolidação plena de modelos inovadores. Dessa forma, o cenário nacional é caracterizado como um sistema híbrido e em evolução, no qual avanços importantes coexistem com barreiras que definem o ritmo da transformação rumo a um setor energético mais moderno e alinhado às exigências da descarbonização.

5. DISCUSSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a inovação em modelos de negócio no setor energético envolve um processo mais amplo do que a simples adoção de tecnologias renováveis ou ferramentas digitais. Essa compreensão dialoga diretamente com o que Mihailova et al. (2023) argumentam ao afirmar que a transição energética exige mudanças simultâneas nas dimensões tecnológica, institucional e organizacional, desafiando empresas a reformular sua lógica de criação de valor. Assim como identificado na análise, a literatura reforça que a inovação depende da capacidade das organizações de incorporar sustentabilidade, eficiência e flexibilidade de forma transversal às estratégias corporativas, e não apenas como iniciativas isoladas.

A interpretação dos resultados também mostrou que muitas empresas brasileiras ainda tratam a inovação de forma fragmentada, concentrando esforços em melhorias operacionais ou ações específicas de eficiência energética. Essa observação converge com as conclusões de Papapostolou et al. (2025), segundo as quais a maturidade em inovação só se estabelece quando a digitalização, a gestão de dados e os modelos orientados a serviços passam a integrar processos contínuos. Da mesma forma, o Strategic Framework for Sustainable Business Models in the Energy Sector (2024) aponta que a consolidação de modelos de negócio mais sustentáveis requer integração entre áreas técnicas, financeiras e ambientais, uma exigência que se refletiu claramente nos desafios observados no contexto brasileiro.

Ao analisar modelos específicos, como EaaS, PPAs e geração distribuída, verificou-se que, embora essas soluções tenham potencial comprovado, sua adoção ainda encontra barreiras relacionadas à infraestrutura, custos e regulamentação. Firmeza et al. (2024) destacam que modelos inovadores frequentemente enfrentam entraves como ausência de padronização, restrições tecnológicas e necessidade de sistemas digitais mais robustos. Esse entendimento é reforçado por Souza, Lima e Almeida (2021), que mostram que a GD no Brasil cresce, mas ainda depende de um arcabouço regulatório em evolução e da capacitação técnica necessária para sustentar soluções mais avançadas. Esses apontamentos ajudam a explicar por que os resultados indicam avanços significativos, mas ainda desiguais.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Outra discussão relevante levantada na pesquisa refere-se ao papel das matrizes internacionais na difusão de práticas inovadoras no setor energético brasileiro. Os achados da pesquisa mostraram que as diretrizes globais trazem benefícios como acesso a tecnologias avançadas, investimentos voltados à descarbonização e métodos de gestão alinhados às tendências internacionais. A literatura corrobora esse processo: estudos sobre comunidades energéticas na França (Business Models and the Impact of Energy Communities on the Energy Transition, 2023) demonstram que modelos internacionais bem-sucedidos podem acelerar a inovação local quando adaptados às condições regionais. Ao mesmo tempo, esses estudos alertam que políticas e modelos desenvolvidos em mercados maduros nem sempre podem ser replicados integralmente em países com estruturas regulatórias mais complexas ou infraestrutura menos digitalizada—uma situação que se confirmou nos resultados observados no Brasil.

A digitalização aparece como um eixo estruturante de boa parte dessas transformações. Conforme discutido por Fuentes (2025), o avanço da digitalização faz com que modelos de negócio tendam a convergir para arranjos baseados em plataformas, dados e serviços, fenômeno também evidenciado nos resultados relacionados à expansão do EaaS e das soluções de monitoramento inteligente. Entretanto, esse processo revela desigualdades no acesso à tecnologia e limitações de padronização, fatores que foram identificados tanto na literatura quanto na presente análise como barreiras à adoção de modelos mais sofisticados no país.

Por fim, o movimento em direção a modelos participativos e descentralizados, como aqueles baseados em *prosumers* e comunidades de energia, depende de condições institucionais adequadas e de infraestrutura compatível. Rolando e Ingriana (2024) destacam que esses modelos podem gerar impactos econômicos positivos, como criação de empregos verdes e fortalecimento de cadeias produtivas locais, mas exigem políticas públicas consistentes e capacidades organizacionais maduras para se consolidarem. A coexistência, identificada nos resultados, entre avanços significativos e limitações estruturais evidencia que o Brasil opera em um cenário híbrido, no qual o potencial de

inovação convive com obstáculos relacionados à regulação, infraestrutura e maturidade tecnológica.

Em síntese, o diálogo entre os resultados obtidos na pesquisa e a literatura recente mostra que a inovação em modelos de negócio no setor energético é um processo multifacetado, que depende da articulação entre tecnologia, governança, capacidades organizacionais e participação social. Essa interdependência, amplamente destacada por autores contemporâneos, reforça que a transição energética exige não apenas novas soluções, mas novas formas de coordená-las, integrá-las e torná-las viáveis em contextos distintos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo buscou compreender de que maneira a inovação em modelos de negócio pode impulsionar a expansão das fontes renováveis e contribuir para o avanço da descarbonização no setor energético. A análise realizada mostrou que essa inovação não se limita ao desenvolvimento tecnológico, mas envolve transformações na forma como as empresas estruturam suas operações, criam valor e se posicionam diante das demandas ambientais e competitivas que moldam a transição energética.

A investigação evidenciou que modelos como o Energy-as-a-Service, os contratos de longo prazo para compra de energia e as diversas formas de geração distribuída representam caminhos concretos para ampliar o uso de fontes limpas, promover eficiência e fortalecer a participação dos consumidores no sistema elétrico. Esses formatos demonstram que a inovação é capaz de aproximar sustentabilidade e desempenho econômico, tornando o setor mais dinâmico, descentralizado e alinhado a novos padrões de consumo.

Também se observou que o contexto brasileiro apresenta avanços significativos, mas ainda convive com desafios estruturais e regulatórios que influenciam a velocidade de adoção dessas soluções. A atuação de subsidiárias de grandes empresas internacionais favorece a incorporação de práticas modernas e tecnologias mais avançadas, porém exige adaptações às condições e limitações locais. Essa dinâmica revela que a transição energética depende de equilíbrio entre direcionamento global e aplicação regional.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Por fim, o estudo apontou que a consolidação de modelos de negócio inovadores demanda um ambiente que favoreça a experimentação, a integração entre agentes e a construção de estratégias de longo prazo. Redução de barreiras, aprimoramento regulatório e fortalecimento da capacidade institucional são elementos essenciais para que as empresas possam expandir soluções sustentáveis e transformar a organização do setor energético.

Assim, conclui-se que a inovação em modelos de negócio é um elemento central da modernização do setor, ao integrar tecnologia, sustentabilidade e estratégia em uma mesma direção. Embora baseado em fontes secundárias, o estudo oferece uma visão atualizada e abrangente sobre o tema, contribuindo para compreender como diferentes arranjos organizacionais podem apoiar a transição energética e abrir caminhos para pesquisas futuras que explorem seus impactos de forma empírica.

REFERÊNCIAS

Adner, R. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard Business Review*, v. 84, n. 4, p. 98, 2006.

Agência Internacional de Energia (IEA). *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>. Acesso em: 20 set. 2025.

Andrade, H. S. *Proposta de modelo de processos para a gestão da proteção e da comercialização da propriedade intelectual em núcleo de inovação tecnológica*. 2016. Tese (Doutorado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2016.

Andrade, H. S.; Chagas Jr., M. F.; Soto Urbina, L. M.; Silva, M. B. Application of a process model for the management of intellectual property in a technology licensing office from a Brazilian research center. *International Journal of Innovation*, v. 5, p. 1–1, 2017a.

Andrade, H. S.; Silva, M. B.; Rosa, A. C. M.; Chimendes, V. C. G.; Chagas Jr., M. F. Risk and success factors in technology transfer. *International Journal of Engineering Research and Applications*, v. 7, n. 9, p. 66–71, 2017b.

Bartlett, C.; Ghoshal, S. *Managing across borders: the transnational solution*. Boston: Harvard Business School Press, 1999.

Bezerra, F. P.; Silva, R. M. Análise dos modelos de negócios empregados na geração distribuída e no mercado de energia no Brasil. *Revista REASE*, v. 10, n. 4, p. 1–15, 2024. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/15244>. Acesso em: 5 out. 2025.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Business models and the impact of energy communities on the energy transition: lessons from France. Grenoble Ecole de Management, 2023. Disponível em: <https://www.grenoble-em.com/en/news/business-models-and-the-impact-of-energy-communities-on-the-energy-transition-lessons-learned-from-the-case-of-france>. Acesso em: 5 out. 2025.

Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS); World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). *Guia de Power Purchase Agreements (PPAs) corporativos no Brasil*. Rio de Janeiro: CEBDS/WBCSD, 2020. Disponível em: https://docs.wbcsd.org/2020/03/WBCSD_PPA_Brazil_Guide.pdf. Acesso em: 5 out. 2025.

De Souza, R.; Lima, V.; Almeida, P. Prosumer integration into the Brazilian energy sector: an overview of innovative business models and regulatory challenges. *Energy Reports*, v. 7, p. 562–574, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621005151>. Acesso em: 5 out. 2025.

Eletrobras. *Relatório Anual e de Sustentabilidade 2024*. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2024. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/Documents/Eletrobras_RA_2024.pdf. Acesso em: 20 set. 2025.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). *Balanço Energético Nacional 2024*. Brasília: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

Engie Brasil Energia. *Relatório de Sustentabilidade 2024*. Florianópolis: Engie, 2024. Disponível em: <https://www.engie.com.br/investidores/esg/relatorios-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 20 set. 2025.

Enel. *Relatório Anual e de Sustentabilidade 2024*. São Paulo: Enel, 2024. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Sustentabilidade/relatorios-anuais.html>. Acesso em: 20 set. 2025.

Firmeza, M. M.; Frate, C. A.; Araripe, A. T. C.; Carvalho, P. C. M. de. Geração distribuída e novos modelos de negócios: uma revisão bibliométrica sobre o modelo P2P. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS, 2024, Brasília. *Anais...* Brasília: ABENS, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.59627/cbens.2024.2420>. Acesso em: 5 out. 2025.

Fuentes, R. When digitalization pervades, business models converge. *Business Horizons*, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681325000047>. Acesso em: 25 out. 2025.

Gao, H.; et al. Review of virtual power plant operations: resource coordination and multidimensional interaction. *Applied Energy*, v. 357, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923016483>. Acesso em: 25 out. 2025.

International Renewable Energy Agency (IRENA). *World Energy Transitions Outlook 2024*. Abu Dhabi: IRENA, 2024. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024>. Acesso em: 20 set. 2025.

Lee, J.; Kim, S. Virtual power plants and the digital transformation of distributed energy resources. *Energy Research & Social Science*, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10559572/>. Acesso em: 25 out. 2025.

Mihailova, I.; et al. Redefining business models for the energy transition: social innovation and sustainable value creation in the European energy system. *Energy Strategy Reviews*, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629623001743>. Acesso em: 25 out. 2025.

Ministério de Minas e Energia (MME). *Novos modelos de negócios para a implementação de projetos de geração distribuída social no Brasil*. Rio de Janeiro: MME, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/sistemas-de-energia-do-futuro/P1_Novosmodelosdenegcios_SITE.pdf. Acesso em: 20 set. 2025.

Ministério de Minas e Energia (MME). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Brasília: MME, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>. Acesso em: 20 set. 2025.

MIT Sloan Management Review Brasil. Energia como serviço: uma nova luz para os negócios. São Paulo, 17 jan. 2023. Atualizado em 27 ago. 2024. Disponível em: <https://mitsloanreview.com.br/energia-como-servico-uma-nova-luz-para-os-negocios/>. Acesso em: 5 out. 2025.

Neoenergia. *Relatório de Sustentabilidade 2023*. Rio de Janeiro: Neoenergia, 2024. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/relatorio-anual-de-sustentabilidade>. Acesso em: 20 set. 2025.

Osterwalder, A.; Pigneur, Y. *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

Papapostolou, A.; et al. Innovative business models towards sustainable energy systems. *Sustainability*, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/15/4191>. Acesso em: 5 out. 2025.

Pinheiro, L. P. A. *Novos negócios no mercado de distribuição de energia no Brasil: uma proposta estratégica*. 2019. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) –



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019. Disponível em:
<https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/3234>. Acesso em: 5 out. 2025.

Rolando, H.; Ingriana, M. Sustainable business models in the green energy sector: creating green jobs through renewable energy technology innovation. *Journal of Cleaner Production*, 2024. Disponível em:
<https://journal.dinamikapublika.id/index.php/IJEBS/article/view/3>. Acesso em: 25 out. 2025.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). *Inovações em energia: oportunidades de negócios e gestão eficiente*. Brasília: Sebrae, 2024. Acesso em: 20 set. 2025.

Shell Energy Brasil. *Energy Transition Strategy 2024*. Londres: Shell, 2024. Disponível em: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/shell-energy-transition-strategy-2024.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

Strategic Framework for Sustainable Business Model of the Energy Sector. *Revista de Gestão Social e Ambiental (RGSA)*, 2024. Disponível em:
<https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/6219>. Acesso em: 25 out. 2025.