



O DILEMA DA DESCARBONIZAÇÃO NA AMAZÔNIA: MODELOS DE CONCESSÃO E JUSTIÇA ENERGÉTICA

THE DECARBONIZATION DILEMMA IN THE AMAZON: CONCESSION MODELS AND ENERGY JUSTICE

Grupo de Trabalho (GT): GT04. Sociobioeconomia e exploração dos recursos naturais na Amazônia

Marcos Severiano Pereira – Universidade de Brasília – marcos.severiano@hotmail.com

Ana Maria Resende Junqueira – Universidade de Brasília - anamaria@unb.br

Resumo

A Amazônia brasileira, embora detenha elevado potencial solar e hídrico, ainda apresenta milhões de habitantes em comunidades isoladas dependentes de sistemas a diesel, caracterizados por altos custos (acima de R\$ 1,50/kWh) e elevadas emissões (até 3.000 tCO₂/MW/ano). Este estudo tem como objetivo analisar comparativamente os impactos socioeconômicos e ambientais de três modelos de concessão de energia renovável em Sistemas Isolados (SISOL): centralizado, híbrido e comunitário. Parte-se da hipótese de que arranjos descentralizados e autogeridos, apoiados por políticas públicas e financiamento acessível, promovem maior inclusão social, autonomia local e sustentabilidade ambiental. A metodologia adotada baseia-se em uma revisão sistemática de 36 documentos publicados entre 2011 e 2025, incluindo estudos de caso, artigos técnicos e relatórios institucionais. A análise foi estruturada em categorias como custo, emissões, geração de empregos, participação comunitária e governança. Os resultados indicam que modelos comunitários apresentam menores custos operacionais (R\$ 0,35–0,60/kWh), maior geração de empregos, maior disponibilidade energética e impactos positivos sobre indicadores sociais como permanência escolar e renda local. Em contrapartida, modelos centralizados demonstram baixa eficiência operacional, elevada dependência logística e fraca participação comunitária. Conclui-se que a transição energética na Amazônia deve ir além da substituição tecnológica, incorporando justiça energética, soberania territorial e governança participativa como pilares fundamentais para um desenvolvimento sustentável e inclusivo.

Palavras-chave: Amazônia. Energia Renovável. Justiça Energética. Autonomia Comunitária. Modelos de Concessão.

Abstract

Although the Brazilian Amazon holds significant solar and hydro potential, millions of residents in remote communities remain dependent on diesel-based energy systems, characterized by high costs (over R\$ 1.50/kWh) and considerable emissions (up to 3,000 tCO₂/MW/year). This study aims to comparatively analyze the socioeconomic and environmental impacts of three renewable energy concession models in Isolated Systems (SISOL): centralized, hybrid, and community-based. The hypothesis is that decentralized, self-managed arrangements—supported by public policies and accessible financing—foster greater social inclusion, local autonomy, and environmental sustainability. The methodology involves a systematic review of 36 documents published between 2011 and 2025, including case studies, technical articles, and institutional reports. The analysis was structured into categories such as cost, emissions, job creation, community participation, and governance. Results show that community-based models yield lower operational costs (R\$ 0.35–0.60/kWh), higher job creation, greater energy availability, and positive effects on social indicators such as school retention and local income. In contrast, centralized models exhibit lower operational efficiency, high logistical dependence, and limited community engagement. The study concludes that the energy transition in the Amazon must go beyond technological substitution, incorporating energy justice, territorial sovereignty, and participatory governance as fundamental pillars for sustainable and inclusive development.

Keywords: Amazon. Renewable Energy. Energy Justice. Community Autonomy. Concession Models.

1. Introdução

A Amazônia, embora rica em recursos hídricos e solares, mantém desafios de acesso à eletricidade em comunidades isoladas, com assimetrias técnicas, institucionais e de governança que desconsideram as realidades locais (ENVOL, 2025; Gutierrez, 2025). Nos Sistemas Isolados (SISOL), termelétricas a diesel atendem cerca de um milhão de habitantes a custos



elevados e com altas emissões (ENVOL, 2025; Bogorni *et al.*, 2021). Embora arranjos híbridos fotovoltaico-diesel apresentem viabilidade técnica e econômica, a persistência do diesel decorre de entraves regulatórios, crédito escasso e desafios logísticos (Almeida; Pereira, 2024; Relva *et al.*, 2023; ENVOL, 2025). Nesse sentido, o armazenamento de energia surge como um componente-chave. O estudo de caso de Santos *et al.* (2024) em Fernando de Noronha, por exemplo, demonstra que a integração de sistemas fotovoltaicos com baterias é crucial para ampliar a confiabilidade, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e garantir a estabilidade operacional em redes isoladas, reforçando seu papel na viabilização da transição energética.

Nunes *et al.* (2022) indicam fotovoltaico e biomassa como alternativas mais viáveis para SISOL, com maior segurança em sistemas híbridos; apontam, contudo, falta de estudos que integrem técnica e dimensões socioinstitucionais (governança, distribuição de benefícios, autonomia e direitos territoriais). Lembi *et al.* (2025) avançam com *co-design* participativo em três comunidades *off-grid* na Reserva Extrativista (RESEX) Tapajós-Arapiuns, incluindo sistema fotovoltaico isolado (Porto Rico) e híbrido fotovoltaico-diesel (Cachoeirinha do Mentai), articulando tecnologia, participação e sustentabilidade.

Com o objetivo de contribuir para esse debate, este artigo realiza uma análise comparativa dos modelos de concessão de energia renovável em comunidades isoladas da Amazônia, examinando seus impactos sobre inclusão social, renda, autonomia e sustentabilidade ambiental. A questão central é: **de que forma os diferentes arranjos institucionais de concessão afetam os resultados socioeconômicos, ambientais e de justiça energética nos sistemas isolados amazônicos, e qual o papel da participação comunitária e da governança local na efetividade dessas experiências para a descarbonização e o desenvolvimento sustentável?**

Parte-se da hipótese de que modelos descentralizados e autogeridos, apoiados por políticas públicas específicas e instrumentos financeiros acessíveis, tendem a promover impactos mais positivos em termos de inclusão, justiça social e sustentabilidade ambiental do que arranjos centralizados ou orientados exclusivamente por interesses externos. São também testadas hipóteses complementares relativas ao papel da capacitação técnica local, da participação ativa das comunidades nas decisões, da viabilidade econômica de soluções autogeridas e da necessidade de marcos regulatórios adaptados à realidade amazônica.

O objetivo geral deste estudo é analisar comparativamente os impactos socioeconômicos dos principais modelos de concessão de energia renovável em sistemas isolados da Amazônia, avaliando em que medida aspectos da justiça energética – participação, equidade, autonomia e distribuição de benefícios – são incorporados e efetivamente promovidos nos diferentes arranjos institucionais. Para tanto, são definidos como objetivos específicos: (i) mapear e caracterizar os modelos institucionais de concessão presentes na região; (ii) identificar os indicadores técnicos, sociais e econômicos associados a cada modelo; (iii) analisar o papel da governança, da participação comunitária e das políticas públicas para a sustentabilidade dos sistemas; e (iv) propor recomendações para o aprimoramento do marco regulatório e para o fortalecimento da autonomia comunitária na transição energética amazônica.

A relevância do estudo está em alinhar descarbonização à justiça, equidade e autodeterminação. A mera troca tecnológica não reverte desigualdades sem reformas de governança e repartição de benefícios. Defende-se inovação tecnológica e institucional com protagonismo comunitário e centralidade dos direitos territoriais.

O artigo organiza-se em seis seções subsequentes à introdução. A seção 2 apresenta o referencial teórico sobre energia, justiça energética e governança na Amazônia. A seção 3 descreve a metodologia empregada. A seção 4 expõe e discute os resultados da análise



comparativa dos modelos de concessão. A seção 5 aprofunda a discussão dos achados à luz dos objetivos e das hipóteses formulados. A seção 6 apresenta as considerações finais, com recomendações para políticas públicas e agendas futuras de pesquisa.

2. Referencial Teórico

A literatura descreve conflitos históricos na gestão de recursos energéticos na Amazônia. Grandes empreendimentos hidrelétricos e de transmissão priorizaram demandas externas, com impactos territoriais e sociais sobre comunidades tradicionais, restringindo meios de vida e acentuando desigualdades socioambientais (Castro, 2021; Cavalcante, 2024; Oliveira *et al.*, 2023)

Essa lógica, centrada na apropriação dos recursos naturais amazônicos para abastecer demandas externas, acarreta custos ambientais e sociais concentrados sobre as comunidades locais. Conforme o relatório da ENVOL (2025), sistemas isolados movidos a diesel, predominantes na região Norte, são responsáveis por emissões anuais superiores a 2.500 tCO₂/MW, além de elevados custos financeiros. Esse quadro é agravado pela carência de políticas estruturantes para descarbonização e pela complexa variabilidade dos ciclos biogeoquímicos regionais. As florestas tropicais desempenham um papel central nos ciclos globais de água e energia, modulando processos de circulação atmosférica, formação de nuvens e precipitação (Restrepo-Coupe *et al.*, 2021). A evapotranspiração, por exemplo, mitiga o aquecimento ao consumir a radiação solar primariamente como calor latente, em vez de calor sensível, exercendo um poderoso efeito de resfriamento (Restrepo-Coupe *et al.*, 2021). No que tange ao carbono, como demonstra Houghton *et al.* (2000), a combinação de desmatamento e queimadas pode transformar a Amazônia em uma fonte líquida de carbono entre 0,1 e 0,4 petagrama de carbono por ano (Pg C·ano⁻¹), com emissões dobrando em anos de seca severa. Em contrapartida, florestas intactas atuam como sumidouros. Essa volatilidade, porém, revela a fragilidade do sistema: eventos climáticos extremos podem inverter rapidamente o papel da região no ciclo global do carbono, ampliando seu impacto nas mudanças climáticas.

Estudos demonstram que o desmatamento e o abandono de terras agrícolas na Amazônia brasileira foram responsáveis por uma emissão média de 0,2 Pg C·yr⁻¹ entre 1989 e 1998 (Houghton *et al.*, 2000). A conversão de florestas para uso agrícola intensifica as emissões de CO₂ e N₂O (Frare *et al.*, 2023), mas seus impactos transcendem a bioquímica. A mudança no uso da terra, os incêndios e os eventos climáticos extremos são fatores-chave que alteram o balanço energético da região, modificando diretamente o albedo (a refletividade da superfície) e o fluxo de resfriamento evaporativo (Restrepo-Coupe *et al.*, 2021). Assim, o desmatamento não apenas emite gases de efeito estufa, mas também compromete a capacidade da floresta de regular a temperatura local e regional.

Nesse contexto, Bustamante *et al.* (2009) aprofundam a compreensão da Amazônia como um importante "sumidouro e fonte de gases traço", o que, somado aos seus efeitos biofísicos, torna fundamental a avaliação das interações entre o uso da terra e as dinâmicas climáticas. Estudos na Amazônia brasileira indicam que terras agrícolas abandonadas regeneram florestas secundárias, as quais acumulam carbono em taxas que variam conforme a biomassa original, contribuindo para a mitigação climática (Houghton *et al.*, 2000), sendo que esse processo é lento e pode ser comprometido por novos ciclos de desmatamento ou queimadas, que liberam estoques de carbono acumulados.

Há contradição entre o papel estratégico da Amazônia e a marginalização no acesso. Indicadores oficiais (Luz para Todos) sugerem 99,7% de cobertura, mas há invisibilidade estatística: ~1 milhão sem rede formal e muitos com fornecimento intermitente; ~900 mil vivem em SISOL sem suprimento contínuo (ENVOL, 2025; Oliveira *et al.*, 2024). A geração segue 89% a diesel, com elevada dependência logística e custos; mesmo estados exportadores (PA)



mantêm bolsões sem acesso. Embora o potencial solar (Irradiância Global Horizontal – GHI, 4,8–5,2 kWh/m²/dia) e soluções híbridas indiquem reduções de custo, subsídios da Conta de Consumo de Combustíveis (CCC) e lacunas regulatórias desincentivam renováveis locais. A transição requer marcos específicos, investimentos e políticas integradas a desenvolvimento local e justiça energética (ENVOL, 2025).

2.1 Justiça energética e soberania comunitária

Nos Sistemas Isolados (SISOL), a justiça energética emerge como elemento central. A ENVOL (2025) aponta que a inclusão das comunidades nas decisões eleva tanto a sustentabilidade quanto a aceitação social, enquanto modelos autogeridos fortalecem a soberania local e contribuem para melhorias em renda e educação (Klein et al., 2024; ENVOL, 2025). Para Gutierrez (2025), democratizar o acesso à energia exige integrar participação social, governança inovadora e reconhecimento dos direitos das comunidades, evitando processos de exclusão. Já Lembi et al. (2025) reforçam que a justiça energética se fundamenta em governança compartilhada entre diferentes atores — governos, empresas, universidades e comunidades — e deve priorizar a equidade na distribuição dos benefícios, a participação efetiva e o respeito às populações tradicionais.

Embora a Constituição não assegure explicitamente o acesso à eletricidade, este é interpretado como um direito fundamental, decorrente da dignidade da pessoa humana e vinculado a direitos sociais como saúde e educação (Borgoni et al., 2021). No contexto amazônico, entretanto, a adoção de energias renováveis pode ser tanto vetor de inclusão quanto de desigualdade, dependendo do arranjo de governança implementado. Muitos projetos de eletrificação ainda seguem um modelo centralizado, em que as comunidades não participam das decisões (Sant’Anna; Bortoletto; Donda, 2023). Essa ausência de consulta resulta em serviços desajustados às necessidades reais e em subutilização dos sistemas, perpetuando a exclusão socioenergética, como mostram Oliveira et al. (2024) e o relatório da ENVOL (2025). Em contraponto, a noção de soberania energética valoriza o controle comunitário da produção e da gestão, permitindo a operação de sistemas híbridos — solares, hidrocinéticos ou de biomassa — adequados às realidades locais (Lembi et al., 2025). Essa abordagem reforça a autonomia e reduz vulnerabilidades externas. Nesse cenário, tecnologias como turbinas hidrocinéticas submersas, que eliminam a necessidade de barragens e facilitam a manutenção comunitária, despontam como alternativas promissoras (Condori; Santos; Silva, 2025).

2.2 O risco do ecoextrativismo verde

O ecoextrativismo verde representa o risco de que a transição energética na Amazônia, focada em projetos solares de larga escala e no desenvolvimento do hidrogênio verde (H₂V), torne-se uma nova forma de extração de recursos sem a devida repartição de benefícios (Barbosa, 2025; Envol, 2025; Condori; Santos; Silva, 2025). Essa lógica se manifesta de múltiplas formas: empreendimentos que priorizam a geração de créditos de carbono ou o suprimento ao Sistema Interligado Nacional (SIN) em detrimento das necessidades locais; e a complexidade do licenciamento ambiental somada à sobreposição de competências, que geram insegurança jurídica e atrasos. Tais barreiras, conforme apontam Condori, Santos e Silva (2025) e ENVOL (2025), agravam a falta de governança participativa, essencial para evitar que a descarbonização se converta em vetor de desigualdade (Cataia; Duarte, 2022). Nesse cenário, a busca brasileira por protagonismo na exportação de H₂V, se aplicada acriticamente, pode replicar um modelo de grandes projetos que exclui os ganhos locais (Barbosa, 2025).

Essa dependência histórica do diesel em comunidades amazônicas, com seus altos custos e poluição massiva — a exemplo das 2,7 milhões de toneladas de CO₂ emitidas só em Rondônia em 2020 (Bogorni, 2021) —, exemplifica o problema. É nesse ponto que o alerta de Castro (2021) se torna tão pertinente: sem o protagonismo local, a Amazônia corre o risco de



virar uma mera "colônia energética verde", exportando recursos renováveis enquanto suas populações continuam à margem dos benefícios da transição.

2.3 Modelos de concessão e tecnologias renováveis

Na região amazônica, observam-se três principais modelos de concessão de energia: o estatal tradicional, parcerias público-privadas e iniciativas comunitárias apoiadas por Organizações Não Governamentais (ONGs) ou cooperativas (ENVOL, 2025). Esses modelos implicam impactos diferenciados em termos de equidade, sustentabilidade e resiliência dos sistemas. Os arranjos centralizados privilegiam a integração ao Sistema Interligado Nacional (SIN), mas frequentemente deixam de lado as particularidades locais. Por sua vez, modelos descentralizados, embora possam apresentar custos iniciais mais elevados, promovem maior geração de empregos, capacitação técnica e autonomia na manutenção (Nunes *et al.*, 2022). Estudos demonstram que minirredes rurais autogeridas e sistemas de microgeração, especialmente quando associados à participação comunitária e políticas adequadas, tendem a oferecer soluções de baixo custo, reduzir emissões e promover inclusão socioeconômica (Casillas; Kammen, 2011).

O modelo centralizado das hidrelétricas amazônicas é ilustrado por grandes usinas que fornecem eletricidade para centros distantes, ao custo de impactos sociais e ambientais localizados. No caso de Rondônia, mesmo com empreendimentos como Jirau e Santo Antônio, que somam mais de 7 GW de capacidade instalada, ainda há uma parcela significativa da população, cerca de 100 mil pessoas, sem acesso adequado à energia (Bogorni *et al.*, 2021).

O sistema fotovoltaico é central na descarbonização dos SISOL, impulsionada por queda de preços e expansão da Geração Distribuída (GD) (Resolução Normativa nº 482/2012) (Almeida; Pereira, 2024; David *et al.*, 2024). A Empresa de Pesquisa Energética (2016) já indicava que soluções híbridas fotovoltaico-diesel com baterias reduzem custos, CCC e impactos. Em projetos autogeridos, famílias economizam ~R\$ 2.400/ano (ENVOL, 2025). Apesar de irradiância média de 4,8–5,2 kWh/m²/dia (Relva *et al.*, 2023), persistem barreiras de incentivos e dependência de importados; produção doméstica e crédito acessível acelerariam a transição (David *et al.*, 2024). Assim, o diesel ainda predomina (Bogorni *et al.*, 2021).

Outras fontes renováveis, como a biomassa florestal, têm potencial para diversificar a matriz energética amazônica, fortalecendo cadeias produtivas locais e reduzindo a dependência de insumos externos (Brandão *et al.*, 2021). Contudo, seu uso sustentável exige manejo cuidadoso para evitar que atividades como o desmatamento convertam florestas — sumidouros de carbono — em fontes líquidas de emissões (Frare *et al.*, 2023). Nesse contexto, tecnologias como a Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono (BECCS) emergem como alternativas promissoras. Conforme Santana *et al.* (2024), a BECCS permite que a geração de energia a partir da biomassa resulte em emissões líquidas negativas, alinhando o desenvolvimento energético regional às metas climáticas globais. Embora sua implementação enfrente desafios técnicos e econômicos, representa uma via estratégica para conciliar produção energética local com a preservação do ciclo do carbono amazônico.

2.4 Governança e políticas públicas

A governança na Amazônia envolve Estado, setor privado e sociedade civil; a falta de coordenação gera sobreposição e ineficiências. O Luz para Todos ampliou acesso, mas sem assegurar sustentabilidade de muitos sistemas (Bogorni *et al.*, 2021). Experiências como o Xingu Solar mostram que participação comunitária aumenta sustentabilidade e apropriação (ENVOL, 2025). São necessários mecanismos participativos, transparência e regulação adaptada à matriz regional.

A transição energética na Amazônia deve ser compreendida para além dos desafios técnicos, assumindo-se como um projeto político voltado à transformação social. O



aproveitamento das potencialidades regionais pode favorecer o desenvolvimento sustentável, desde que apoiado em princípios de justiça, soberania e participação comunitária (Moreira; Manzatto, 2023; Lembi *et al.*, 2025; Sant'Anna; Bortoletto; Donda, 2023).

A construção de um novo pacto energético para a Amazônia requer políticas de financiamento acessíveis, marcos regulatórios específicos para sistemas isolados, iniciativas contínuas de capacitação técnica local, e o reconhecimento efetivo dos direitos territoriais das populações tradicionais. Cataia e Duarte (2022) defendem o uso soberano do território para o controle social dos recursos. Lembi *et al.* (2025) focam na justiça energética e na soberania. Adicionalmente, o relatório ENVOL (2025) identifica a necessidade de coordenação de iniciativas, capacitação, e mobilização de recursos financeiros específicos para a região.

3. Metodologia da Pesquisa

3.1 Abordagem e natureza da pesquisa

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, com delineamento descritivo-exploratório, para mergulhar nas dimensões intangíveis que moldam a transição energética na Amazônia — como a governança local, os arranjos de poder e a justiça distributiva na distribuição dos benefícios e custos da energia. Em vez de buscar apenas números ou indicadores técnicos, buscou-se compreender como essas dinâmicas sociais se manifestam na realidade das comunidades. Para isso, analisou-se comparativamente três modelos de concessão: o centralizado, as parcerias público-privadas (PPP) e o modelo comunitário. Essa escolha foi feita para garantir que a investigação estivesse alinhada à complexidade dos contextos amazônicos, onde a energia não é só um recurso técnico, mas um direito, um símbolo de autonomia e um campo de disputa.

A opção pela abordagem qualitativa se fundamenta na necessidade de analisar não apenas a implementação dos modelos, mas também os fatores que determinam sua consolidação, os atores envolvidos e os efeitos sociais percebidos pelas comunidades. Segundo Modesto *et al.* (2025), estudos sobre matriz energética sustentável na Amazônia devem transcender a dimensão técnica, integrando aspectos sociais, ambientais e políticos. Assim, a metodologia empregada neste trabalho busca compreender as estruturas de decisão, conflitos de interesse e processos de inclusão ou exclusão que influenciam a transição energética na região.

3.2 Estratégia de pesquisa e delineamento metodológico

A revisão sistemática foi estruturada em quatro etapas: (i) definição e teste dos descritores e operadores booleanos; (ii) buscas em bases indexadas e repositórios institucionais; (iii) triagem por critérios explícitos de inclusão e exclusão (escopo temático, período e idiomas) e (iv) codificação temática com categorias analíticas derivadas dos objetivos, seguida de tabulação dos dados para comparação entre os modelos. Os procedimentos foram especificados para assegurar adequação entre problema, objetivos, hipóteses e técnicas empregadas e permitir a reprodutibilidade da análise.

Foram analisados 36 documentos, selecionados pela aderência ao objetivo central do estudo. O *corpus* abrange desde estudos técnicos sobre potencial solar (Relva *et al.*, 2023) e tecnologias hidrocinéticas (Condori; Santos; Silva, 2025), até análises sobre geopolítica energética (Castro, 2021), justiça social (Lembi *et al.*, 2025) e bioeconomia (Frare *et al.*, 2023). A comparação dos modelos de concessão baseou-se em categorias como gestão, financiamento, participação comunitária, sustentabilidade operacional e impactos socioeconômicos, garantindo avaliação sistematizada dos dados qualitativos extraídos.

3.3 Coleta e análise de dados



Os estudos elegíveis foram organizados em uma matriz analítica para uma avaliação multifacetada. As variáveis foram divididas em categorias técnicas como a fonte de energia, o Custo Nivelado de Energia (LCOE: *Levelized Cost of Energy*) e a disponibilidade; e categorias sociais, como a geração de empregos e a aceitação pública. Para padronizar a análise das emissões, adotou-se a metodologia de Houghton *et al.* (2000). Essa abordagem permitiu distinguir as emissões provenientes da queima inicial, da decomposição de resíduos e do acúmulo de carbono durante a regeneração florestal. Fez-se questão de manter total transparência sobre os critérios de inclusão e exclusão de dados. Este rigor metodológico foi fundamental para minimizar inconsistências e permitir uma comparação equitativa entre os diferentes modelos de concessão.

A análise concentrou-se na comparação dos modelos de concessão em distintos contextos da Amazônia, incluindo o projeto Xingu Solar, do Instituto Socioambiental (ISA), e iniciativas de minirredes comunitárias em Rondônia e no Marajó (ENVOL, 2025). Buscou-se identificar os fatores que influenciam a autonomia local, a manutenção dos sistemas e a distribuição equitativa dos benefícios. Evidências secundárias sobre emprego local, custos operacionais, percepção comunitária e sustentabilidade política também foram incorporadas, tomando como referência estudos que demonstram a melhoria do ambiente escolar e a permanência de jovens em suas comunidades devido ao acesso à energia (Klein *et al.*, 2024), além do acesso à energia como direito fundamental (Bogorni *et al.*, 2021).

3.4 Limitações e rigor científico

Embora a pesquisa se baseie predominantemente em dados secundários, reconhece-se como limitação a ausência de coleta de percepções diretas em campo. Contudo, essa restrição foi minimizada por meio da triangulação de fontes — incluindo artigos revisados, relatórios governamentais e estudos de caso —, procedimento recomendado em revisões sistemáticas para contextos de alta disparidade de fontes, como a Amazônia. Ademais, a inclusão de publicações anteriores a 2011, ainda relevantes para a avaliação de custos e emissões, ampliou o horizonte temporal, evitando um viés restrito à produção recente.

Para assegurar o rigor científico, o estudo adotou critérios de transparência e sistematicidade tanto na seleção quanto na análise dos documentos, excluindo-se textos com fundamentação teórica frágil ou sem pertinência regional. Além disso, todas as citações foram checadas diretamente nos arquivos digitais, o que garante fidelidade às fontes originais. **Portanto**, ainda que sem pesquisa de campo, o trabalho propõe uma análise crítica e fundamentada, apta a subsidiar o debate acerca de uma descarbonização justa e inclusiva para a Amazônia.

4. Análise dos Dados

A análise dos modelos de concessão de energia renovável na Amazônia requer avaliação sistemática de seus impactos técnicos, econômicos e sociais, levando em conta as especificidades regionais e institucionais que influenciam a efetividade de cada arranjo. Na sequência, apresentam-se os principais resultados dessa comparação, com base em indicadores reunidos na Tabela 1 e nas evidências dos documentos revisados.

Tabela 1: Quadro Comparativo dos Modelos de Concessão

Indicador	Modelo Centralizado (Estatual/Privado)	Modelo Híbrido (PPP/ONGs)	Modelo Comunitário (Autogestionado)	Fonte
Custo médio de geração (R\$/kWh)	Diesel: > R\$ 1,50	Solar híbrido: R\$ 0,80–1,20	Solar comunitário: R\$ 0,35–0,60 (com manutenção local)	ENVOL (2025); Modesto (2025)
Custo de instalação (R\$/Wp)	Usinas termelétricas a óleo: R\$ 8–12 milhões/MW	Sistemas híbridos (solar + bateria): R\$ 3,80–4,50/Wp	Minirredes solares comunitárias: R\$ 3,20– 3,80/Wp	ENVOL (2025); Moreira,



Indicador	Modelo Centralizado (Estatal/Privado)	Modelo Híbrido (PPP/ONGs)	Modelo Comunitário (Autogestionado)	Fonte
				Lacerda Junior e Machado (2024)
Emissões de CO ₂ evitadas (tCO ₂ /ano)	Sistema a diesel: 2.500–3.000 tCO ₂ /MW/ano	Substituição parcial por solar: redução de 40–60%	Transição total para renováveis: redução de 85–95%	ENVOL (2025)
Taxa de disponibilidade do sistema (%)	60–75% (com interrupções frequentes por falta de combustível)	80–90% (dependente de manutenção externa)	> 90% (com capacitação local e manutenção autônoma)	ENVOL (2025); Modesto (2025)
Número de técnicos locais capacitados por projeto	0–5 (em geral, técnicos são trazidos de fora)	10–20 (treinamento pontual, mas não contínuo)	15–30 (formação contínua e certificação comunitária)	ENVOL (2025); Condori, Santos e Silva (2025)
Empregos diretos gerados por MW instalado	1–2 (operadores e logística)	3–5 (instalação e manutenção)	6–8 (instalação, operação, manutenção e gestão)	Modesto (2025)
Redução no abandono escolar após eletrificação	Não mensurado em projetos centrais	+12% em escolas atendidas por PPPs	+22% em comunidades com autogestão energética	Mejdalani <i>et al.</i> (2018); ENVOL (2025)
Tempo médio de resposta a falhas (horas)	72–120 horas (depende de deslocamento fluvial)	48–72 horas	6–24 horas (com equipe local)	ENVOL (2025); Moura <i>et al.</i> (2025)
Irradiância média na região amazônica (kWh/m ² /dia)	–	4,8–5,2 (potencial elevado para fotovoltaico)	4,8–5,2 (aproveitado em sistemas locais)	Relva <i>et al.</i> (2023)
Eficiência de turbinas hidrocinéticas de queda ultrabaixa	–	60–70% em rios de baixa vazão	65–70% (com manutenção comunitária)	Condori, Santos e Silva (2025); Klein (2024)
Potencial teórico de biomassa florestal na Amazônia (PJ/ano)	Não aproveitado	< 5% utilizado	Estimativa de >50 PJ/ano (sustentável)	Brandão <i>et al.</i> (2021); Frare <i>et al.</i> (2023)
Custo da biomassa como fonte (R\$/kWh)	–	R\$ 0,38/kWh (com resíduos florestais)	R\$ 0,35–0,40/kWh (com manejo comunitário)	Modesto <i>et al.</i> (2025); Souza e Trindade (2015)
Número de projetos mapeados com gestão comunitária	0	7 iniciativas híbridas com participação local	12 projetos autogestionados documentados	ENVOL (2025)
Economia familiar média com energia solar (%)	–	20–30% (redução de gastos com baterias e combustível)	35–50% (com uso produtivo da energia)	ENVOL (2025); Silva <i>et al.</i> (2024)
Emissões totais da Amazônia (2023)	34.284,136 Mt CO ₂ (3,76% do total nacional) – principal fonte: mudança de uso da terra	–	–	ENVOL (2025)

Fonte: adaptação dos autores (2025).

Nota da Tabela 1. Wp = watt-pico; PJ/ano = petajoules por ano; tCO₂/MW/ano = toneladas de dióxido de carbono por megawatt por ano.

A Tabela 1 mostra que arranjos centralizados, dominados por diesel, têm custos > R\$ 1,50/kWh, baixa disponibilidade e poucos empregos locais (ENVOL, 2025; Bogorni *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2024). A logística onerosa e a operação por equipes externas ampliam interrupções e custos.

Em relação às emissões, os sistemas a diesel registram médias anuais de 2.500 a 3.000 tCO₂/MW (ENVOL, 2025). Em escala regional, contudo, estimativas de referência indicam que as emissões líquidas por uso da terra na Amazônia brasileira atingiram 0,18 Pg C·ano⁻¹ em média no período 1989–1998, com valores entre 0,1 e 0,3 Pg C·ano⁻¹ nos anos 1990; e, crucialmente, o principal componente desse fluxo foi a decomposição de resíduos lenhosos



(slash) após o corte, mais do que a queima inicial (Houghton *et al.*, 2000). Essa contextualização reforça que estratégias de descarbonização devem considerar, além da troca tecnológica nos sistemas isolados, a redução de emissões pós-desmate.

No caso dos modelos comunitários, os custos de geração são sensivelmente mais baixos, variando entre R\$ 0,35 e R\$ 0,60/kWh, principalmente em sistemas solares geridos localmente (ENVOL, 2025; Modesto *et al.*, 2025; Moreira, Lacerda Junior e Machado, 2024). Essas iniciativas alcançam taxas de disponibilidade superiores a 90%, resultado da qualificação técnica contínua dos próprios moradores, o que permite respostas a falhas em períodos de 6 a 24 horas — muito inferiores aos observados em sistemas centralizados (Moura *et al.*, 2025; ENVOL, 2025). Além disso, o número de empregos diretos por megawatt instalado é maior, variando de 6 a 8, com efeitos positivos para a economia local.

No campo social, destaca-se que os modelos comunitários promovem reduções expressivas em indicadores como o abandono escolar — com queda de até 22% após a eletrificação, contra 12% em modelos híbridos e ausência de dados em projetos centralizados (Mejdalani *et al.*, 2018; ENVOL, 2025). Esses resultados sugerem que a autonomia local contribui diretamente para a melhoria das condições sociais, fato também corroborado pela economia familiar média, que pode chegar a 50% de redução nos gastos com energia, especialmente quando associada ao uso produtivo da matriz solar (Silva *et al.*, 2024; ENVOL, 2025).

Em termos tecnológicos, observa-se maior eficiência e aproveitamento nos modelos comunitários, especialmente no uso de turbinas hidrocinéticas de baixa queda e biomassa, cujo potencial técnico excede 50 PJ/ano, com custos variando de R\$ 0,35 a R\$ 0,40/kWh (Brandão *et al.*, 2021; Frare *et al.*, 2023; Souza e Trindade, 2015). Apesar desse potencial, apenas uma fração é utilizada atualmente devido a limitações logísticas e regulatórias (Brandão *et al.*, 2021). O mapeamento de projetos autogeridos sugere aumento das iniciativas de participação comunitária, ainda que sua representatividade permaneça restrita frente aos modelos convencionais (ENVOL, 2025).

Os resultados analisados confirmam a relação direta entre descentralização, capacitação local e melhores indicadores econômicos e sociais, como discutido por Lembi *et al.* (2025) e Sant'Anna, Bortoletto e Donda (2023). Destaca-se que a promoção da justiça energética e da autonomia comunitária é fundamental para o acesso e uso sustentável da energia na Amazônia. Por outro lado, as limitações dos modelos centralizados e híbridos — apontadas por Cataia e Duarte (2022) — representam riscos à perpetuação da dependência externa, baixa resiliência operacional e reduzidos benefícios sociais.

4.1 Modelos de concessão em operação: entre a centralização estatal e a autogestão comunitária

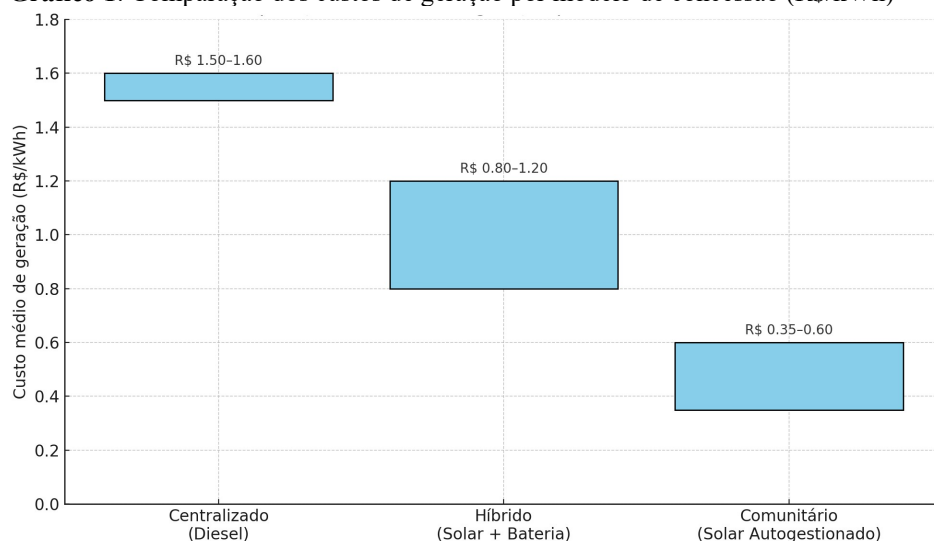
A análise dos documentos evidencia que os sistemas isolados da Amazônia operam sob modelos de concessão com características distintas de gestão e impacto. O modelo centralizado, predominante e ilustrado por programas como o Luz para Todos, consolidou-se por meio de políticas públicas de universalização, mas enfrenta limitações estruturais — especialmente em áreas de difícil acesso, onde a operação e a manutenção exigem logística complexa e infraestrutura externa, o que eleva custos e reduz a autonomia das comunidades (ENVOL, 2025; Bogorni *et al.*, 2021). A carência de técnicos locais qualificados e a dependência de equipes externas prolongam o tempo de resposta a falhas e fragilizam a sustentabilidade operacional (ENVOL, 2025).

Em contrapartida, a expansão de modelos descentralizados e autogeridos, exemplificados por projetos como Xingu Solar, Luz para uma Vida Melhor e Rases Produtoras de Energia Limpa, evidencia alternativas centrais na capacitação técnica local e na participação



comunitária ao longo de todo o ciclo de gestão energética (ENVOL, 2025). Essas experiências geram ganhos em sustentabilidade técnica, demonstrados pelo aumento da disponibilidade dos sistemas e pela geração de empregos locais (Condori; Santos; Silva, 2025). A atuação direta das comunidades na operação e manutenção — especialmente em tecnologias como minirredes solares e turbinas hidrocinéticas — favorece respostas ágeis a falhas e o fortalecimento das capacidades técnicas regionais, além de ampliar a resiliência operacional e a apropriação social dos benefícios da eletrificação sustentável. Como ilustrado no Gráfico 1, esses modelos apresentam custos de geração significativamente inferiores aos modelos convencionais, especialmente quando comparados ao sistema de concessão, o que reforça sua viabilidade econômica e social.

Gráfico 1: Comparação dos custos de geração por modelo de concessão (R\$/kWh)



Fonte: ENVOL (2025); Modesto *et al.* (2025); Moreira, Lacerda Junior e Machado (2024).

4.2 Impactos socioeconômicos diferenciados: emprego, custos e percepção local

A análise dos dados evidencia diferenças substanciais entre os arranjos institucionais de concessão. Os modelos centralizados, conduzidos por concessionárias estatais ou privadas, asseguram o acesso formal à eletricidade, mas raramente promovem desenvolvimento local significativo. A terceirização da gestão e o uso predominante de equipes externas limitam a geração de empregos nas comunidades e pouco contribuem para a formação técnica local. O principal benefício econômico é a eventual redução das tarifas, frequentemente sustentada por subsídios públicos, enquanto o impacto sobre indicadores sociais ou produtivos é modesto ou pontual (ENVOL, 2025; Bogorni *et al.*, 2021).

Em oposição, os modelos comunitários autogeridos demonstram impactos mais expressivos sobre a economia local e a coesão social. Projetos como Resex Produtoras de Energia Limpa, ao operar minirredes fotovoltaicas, proporcionam energia a custos reduzidos e estimulam a criação de cooperativas, a formação de jovens técnicos e o fortalecimento de cadeias produtivas regionais — destacando-se a produção agrícola, o beneficiamento do açaí e o artesanato (ENVOL, 2025; Oliveira *et al.*, 2023). O uso produtivo da energia, aliado à queda dos custos de geração (R\$ 0,35 a R\$ 0,40/kWh para biomassa), amplia a autonomia comunitária e reforça a relação entre eletrificação e segurança alimentar (Souza e Trindade, 2015; Modesto *et al.*, 2025).

Além dos ganhos econômicos, a literatura revela que a descentralização da gestão energética contribui para o fortalecimento dos laços comunitários e para a valorização da



energia enquanto direito coletivo. Indicadores sociais, como a expressiva redução do abandono escolar em projetos autogeridos, reforçam que a autonomia local e a participação efetiva nas decisões ampliam o potencial transformador da energia renovável (Lembi *et al.*, 2025).

4.3 Barreiras institucionais e a necessidade de marcos regulatórios adaptados

A expansão dos modelos descentralizados de energia renovável na Amazônia enfrenta uma série de obstáculos institucionais e regulatórios que comprometem sua replicabilidade e escalabilidade. Conforme aponta ENVOL (2025), a ausência de marcos regulatórios específicos para minirredes, aliada à burocracia no acesso a financiamentos e à resistência de concessionárias tradicionais, configura um ambiente de insegurança jurídica. Essa realidade é agravada pela falta de políticas públicas voltadas à redução dos custos de tecnologias como os sistemas fotovoltaicos, conforme destacam Moreira, Lacerda Junior e Machado (2024). O atual marco legal, fortemente orientado ao Sistema Interligado Nacional (SIN), desconsidera as particularidades das minirredes comunitárias, o que impede o acesso a crédito direcionado e dificulta a comercialização de excedentes energéticos (Envol, 2025; Yaqoot; Diwan; Kandpal, 2016). Além disso, a priorização de grandes obras de infraestrutura elétrica, como o Linhão Manaus-Boa Vista, embora beneficie áreas urbanas, carece de planejamento que leve em conta as necessidades específicas de comunidades ribeirinhas e isoladas (Melo *et al.*, 2023).

A situação se torna ainda mais crítica diante da ausência de protocolos claros para o licenciamento ambiental de minirredes, o que gera sobreposição de competências entre órgãos federais e estaduais. Condori, Santos e Silva (2025) relatam que, em ao menos quatro comunidades amazônicas estudadas, o processo de licenciamento de sistemas solares autogeridos levou mais de dois anos, provocando atrasos significativos na implementação e aumento nos custos operacionais. Em resposta a esse cenário, a Tabela 2 sistematiza as principais barreiras institucionais que limitam o avanço das soluções energéticas descentralizadas na região, organizando-as em categorias e ilustrando sua manifestação prática no contexto amazônico.

Tabela 2 – Barreiras institucionais à expansão das energias renováveis descentralizadas na Amazônia

Categoria	Barreira Identificada	Exemplo/Manifestação	Fonte
Regulatória	Ausência de normas para minirredes	Projetos comunitários sem direito a comercializar excedentes	ENVOL (2025), Muniz <i>et al</i> (2015).
Financeira	Falta de linhas de crédito específicas	Projetos autogeridos têm dificuldade de acessar financiamento	ENVOL (2025)
Técnica	Escassez de capacitação local contínua	Treinamentos são pontuais, sem manutenção permanente	Moreira <i>et al.</i> (2024)
Social	Resistência de concessionárias tradicionais	Dificuldade de articulação entre governo, ONGs e comunidades	ENVOL (2025), Melo <i>et al.</i>
Logística	Dificuldades de acesso físico e de suprimento	Demora para chegada de peças e manutenção	Condori, Santos e Silva (2025)
Territorial	Conflitos de uso da terra	Falta de consulta prévia e consentimento em grandes projetos	Cavalcante (2024)

Fonte: adaptação dos autores (2025).

Os estudos analisados revelam que, apesar de avanços no debate legislativo sobre energias renováveis, os sistemas isolados ainda carecem de políticas específicas, resultando em iniciativas fragmentadas e de alcance restrito (ENVOL, 2025). Barreiras como a burocracia



para aprovação de projetos, a escassez de capacitação local e a resistência de concessionárias consolidadas dificultam a adoção de arranjos descentralizados (Yaqoot; Diwan; Kandpal, 2016). Na Amazônia, desafios logísticos, instituições locais frágeis e conflitos territoriais tornam a superação desses entraves ainda mais desafiadora, reforçando a necessidade de reformas regulatórias que reconheçam e apoiem soluções comunitárias. Segundo Gutierrez (2025), a ausência de diretrizes específicas para sistemas isolados e o excesso de burocracia impedem a expansão de modelos autogeridos, evidenciando o papel crucial das políticas públicas e da articulação federativa para a promoção da justiça energética.

4.4 Justiça energética e soberania: o caminho para uma transição com ética

A literatura recente evidencia que a transição energética na Amazônia deve ser analisada sob o enfoque da justiça energética, entendida como acesso equitativo aliado à participação efetiva das comunidades nas decisões sobre geração e uso da energia. Conforme Cavalcante (2024) e Cataia e Duarte (2022), a mera substituição de sistemas a diesel por renováveis não é suficiente para romper com padrões históricos de desigualdade e dependência, sobretudo quando a governança permanece centralizada em agentes externos. O fortalecimento de modelos baseados em participação, transparência e controle comunitário, conforme propõem Lembi *et al.* (2025), é fundamental para que o acesso à energia represente, de fato, inclusão social e respeito à diversidade cultural dos povos amazônicos.

Nesse cenário, o conceito de soberania energética, discutido por Sant’Anna, Bortoletto e Donda (2023), destaca-se ao ressaltar a necessidade de controle local sobre toda a cadeia energética – da produção à distribuição. Experiências documentadas, como o Xingu Solar e a Resex Produtoras de Energia Limpa (ENVOL, 2025), demonstram que a governança compartilhada e a transparência promovem benefícios econômicos e territoriais mais consistentes. Por outro lado, projetos orientados à geração de créditos de carbono para mercados externos, sem benefícios tangíveis para as comunidades, pouco contribuem para uma transição ética e inclusiva. Os dados analisados reforçam que a consolidação de uma transição energética bem-sucedida depende da centralidade da autonomia local e da estruturação de arranjos institucionais participativos, conforme sustentam Moreira e Manzatto (2023).

5. Discussão e Resultados

5.1 Eficácia dos modelos de concessão na descarbonização e na sustentabilidade

Modelos centralizados emitem 2.500–3.000 tCO₂/MW/ano (ENVOL, 2025). Híbridos/renováveis reduzem 40–60% (fotovoltaico/biomassa) (Modesto *et al.*, 2025), e usinas híbridas podem evitar 47 mil tCO₂ (Almeida; Pereira, 2024). Modesto *et al.* combinam revisão qualitativa e análise quantitativa (Custo Nivelado de Energia – LCOE; Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA; indicadores), indicando alto LCOE e emissões nas térmicas e recomendando monitoramento e estudo de híbridos/turbinas hidrocinéticas. Usinas híbridas, por exemplo, podem evitar a emissão de 47 mil toneladas de CO₂ (Almeida; Pereira, 2024). Esse formato reforça a dependência de logística externa para abastecimento e manutenção, e limita a qualificação e a empregabilidade local, visto que as operações permanecem majoritariamente terceirizadas (ENVOL, 2025; Oliveira *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a Tabela 3 apresenta uma síntese do potencial técnico e do uso das principais fontes renováveis na Amazônia — solar fotovoltaica, hidrocinética e biomassa florestal — nos diferentes modelos de concessão (centralizado, híbrido e comunitário). Essa visão comparativa permite visualizar como a diversificação e o aproveitamento dessas fontes variam conforme o tipo de arranjo institucional, sendo elemento fundamental para explicar os resultados diferenciados observados na análise dos impactos socioeconômicos e ambientais dos projetos avaliados.



Tabela 3 - Comparativo do Potencial e Uso de Fontes Renováveis em Modelos de Concessão na Amazônia

Fonte Renovável	Potencial Teórico	Uso em Centralizado	Uso em Híbrido	Uso em Comunitário
Solar Fotovoltaica	Elevado (>5 kWh/m ² /dia)	Marginal	Moderado	Predominante
Hidrocinética	65–70% eficiência	Raro	Pontual	Crescente
Biomassa Florestal	>50 PJ/ano	Não aproveitado	<5% utilizado	Estimativa >50 PJ/ano

Fonte: Relva *et al.* (2023); Condori, Santos e Silva (2025); e Brandão *et al.* (2021).

A análise dos modelos de concessão de energia renovável na Amazônia, à luz dos dados coletados, evidencia diferenças estruturais em termos de desempenho técnico, econômico e ambiental entre os arranjos centralizado, híbrido e comunitário. Os sistemas centralizados, que dependem majoritariamente de termelétricas a diesel, continuam sendo caracterizados pelos mais altos custos de geração, superando R\$ 1,50/kWh, além de apresentarem os maiores custos de instalação, baixa disponibilidade do sistema (60–75%) e altos índices de emissão de CO₂, que ultrapassam 2.500 tCO₂/MW por ano (ENVOL, 2025; Bogorni *et al.*, 2021). Os dados confirmam que essa configuração mantém a dependência de logística externa para suprimento e manutenção, além de não promover o fortalecimento da mão de obra local, uma vez que as operações tendem a ser terceirizadas, sem incentivo à capacitação de técnicos residentes (ENVOL, 2025; Oliveira *et al.*, 2024).

Em contraste, os modelos híbridos, estruturados a partir da integração de energia solar, baterias e parcerias com ONGs ou programas públicos, têm demonstrado avanços ao reduzir o custo médio de geração para valores entre R\$ 0,80 e R\$ 1,20/kWh e diminuir as emissões anuais de CO₂ em 40% a 60% em comparação ao uso exclusivo do diesel. A disponibilidade do sistema também aumenta, atingindo de 80% a 90% (ENVOL, 2025). Contudo, a dependência de manutenção especializada e a rotatividade de técnicos externos limitam o desenvolvimento de capacidades locais. Assim, embora superiores aos modelos centralizados, tais arranjos ainda enfrentam obstáculos para assegurar autonomia e geração de empregos qualificados nas comunidades (ENVOL, 2025; Modesto *et al.*, 2025).

Modelos comunitários autogeridos mostram ganhos claros, com minirredes solares de baixo custo e alta disponibilidade (ENVOL, 2025; Modesto *et al.*, 2025). O grande obstáculo, no entanto, é a intermitência do sol. Atingir a autossuficiência total é um desafio, como mostra a experiência de Fernando de Noronha, onde nem a capacidade máxima de geração solar com baterias garante 100% da demanda (Santos *et al.*, 2024). Para a Amazônia, a lição é clara: é preciso uma abordagem sinérgica. Baterias (SAEB) são ótimas para o curto prazo, mas precisam ser complementadas por soluções de armazenamento de longa duração, como o hidrogênio verde, para cobrir períodos de baixa irradiação. A qualificação técnica das comunidades, portanto, não pode se limitar aos painéis solares; deve incluir a gestão integrada desses sistemas de armazenamento para que os arranjos sejam, de fato, resilientes.

Os resultados indicam que a descentralização da gestão e a formação continuada de técnicos comunitários estão diretamente associadas a melhores resultados econômicos e ambientais, fortalecendo justiça energética e soberania territorial (ENVOL, 2025; Modesto *et al.*, 2025; Lembi *et al.*, 2025), o que reforça a hipótese de que a transição energética sustentável requer arranjos institucionais orientados à autonomia e ao protagonismo local.

5.2 Impactos socioeconômicos locais: autonomia, emprego e inclusão

A análise dos modelos de concessão revela efeitos distintos sobre o desenvolvimento socioeconômico das comunidades amazônicas isoladas. Os modelos centralizados, usualmente



operados por concessionárias estatais ou privadas, geram poucos empregos diretos no âmbito local (um a dois por megawatt instalado) e raramente contemplam programas de capacitação técnica para os moradores. A terceirização das operações e da manutenção restringe o aprendizado prático dentro da comunidade, limitando a circulação de benefícios econômicos no território e mantendo padrões de dependência externa, o que compromete o potencial de dinamização das economias locais (ENVOL, 2025; Bogorni *et al.*, 2021).

Nos modelos híbridos, que resultam da articulação entre setor público e organizações sociais, há um avanço moderado em relação à empregabilidade local, com geração de três a cinco postos diretos por megawatt instalado e oferta de treinamentos técnicos pontuais durante a fase de implantação dos projetos. Contudo, a ausência de programas contínuos de capacitação e a necessidade frequente de suporte técnico externo limitam os ganhos em autonomia e dificultam a consolidação de competências locais a longo prazo (ENVOL, 2025; Modesto *et al.*, 2025).

Os modelos comunitários autogeridos apresentam impactos significativamente mais positivos em relação à geração de emprego, aumento de renda e promoção da inclusão social. Iniciativas como o Xingu Solar e a Resex Produtoras de Energia Limpa proporcionaram entre seis e oito empregos diretos por megawatt instalado, aliando-se à formação continuada de técnicos da própria comunidade e ao estímulo à criação de cooperativas, atividades produtivas e arranjos associativos regionais (ENVOL, 2025; Moreira, Lacerda Junior e Machado, 2024). Esse fortalecimento da autonomia econômica não decorre apenas da redução dos custos de energia, mas também da utilização da eletricidade para fins produtivos, como beneficiamento de alimentos, refrigeração e suporte à agricultura familiar, promovendo o uso eficiente da energia para geração de renda local (Souza e Trindade, 2015). A disponibilidade de energia confiável permite que alimentos sejam refrigerados e pequenos negócios prosperem, contribuindo para o desenvolvimento local (ENVOL, 2025).

Além dos efeitos econômicos, as iniciativas autogeridas demonstraram avanços expressivos em indicadores sociais. Por exemplo, relata-se uma redução no abandono escolar em comunidades com autogestão energética, em contraste com modelos híbridos e a ausência de registro sistemático em arranjos centralizados (ENVOL, 2025). O relatório da ENVOL (2025) aponta que a maior confiabilidade no suprimento de energia em comunidades do Marajó e Baixo Amazonas viabilizou atividades educacionais em turno integral e o uso de recursos multimídia, antes inviabilizados pelo fornecimento intermitente, promovendo a permanência dos jovens na escola (ENVOL, 2025; Moura *et al.*, 2025). Recomenda-se, contudo, que tais resultados sejam objeto de monitoramento contínuo para avaliar sua sustentabilidade a médio e longo prazos.

Os relatos de campo também evidenciam que a energia é valorizada como direito coletivo e elemento-chave de inclusão social, fortalecendo o tecido comunitário e estimulando a participação ativa dos moradores nas decisões sobre operação e manutenção dos sistemas (Lembi *et al.*, 2025). A constituição de cooperativas e o desenvolvimento de competências técnicas locais ampliam a autonomia e o protagonismo das comunidades, favorecendo dinâmicas de desenvolvimento endógeno e fortalecendo a resiliência diante de adversidades externas (ENVOL, 2025; Condori; Santos; Silva, 2025).

Os resultados evidenciam que os arranjos institucionais fundamentados na autogestão, na participação comunitária ativa e na capacitação técnica continuada não apenas geram impactos socioeconômicos superiores — como inclusão, geração de renda e fortalecimento da autonomia —, mas constituem, em si mesmos, a materialização prática dos princípios da justiça energética e da equidade territorial. Esses modelos demonstram que a eficácia da descarbonização está intrinsecamente ligada à democratização do poder de decisão sobre os



recursos energéticos, conforme sustentado por ENVOL (2025), Modesto *et al.* (2025) e Moreira, Lacerda Junior e Machado (2024).

5.3 Barreiras Institucionais e Desafios Regulatórios

A expansão dos sistemas renováveis em comunidades isoladas da Amazônia enfrenta obstáculos relevantes decorrentes da fragmentação do marco regulatório nacional e das limitações das estruturas institucionais vigentes. O Sistema Interligado Nacional (SIN), que orienta as políticas energéticas do país, não prevê normas específicas para as dinâmicas dos sistemas isolados e das minirredes, o que resulta em uma invisibilidade institucional das iniciativas autogeridas (ENVOL, 2025; Modesto *et al.*, 2025). Enquanto projetos ligados ao SIN dispõem de regulamentação clara e mecanismos de financiamento, minirredes comunitárias operam sob insegurança jurídica, sem acesso a instrumentos como isenções fiscais, linhas de crédito específicas ou normas que viabilizem a comercialização de excedentes.

Os estudos apontam que a ausência de políticas públicas voltadas para as especificidades dos sistemas isolados contribui para a manutenção do ciclo de dependência dos combustíveis fósseis e dificulta a viabilização de arranjos renováveis descentralizados (ENVOL, 2025). O ambiente regulatório fragmentado e a sobreposição de competências entre diferentes esferas de governo tornam os processos de aprovação e implementação de projetos mais morosos, especialmente nas áreas de difícil acesso. Embora iniciativas como o programa Luz para Todos tenham ampliado o acesso formal à eletricidade, não promoveram as adaptações institucionais requeridas para garantir a sustentabilidade técnica e a autonomia local dos sistemas (Bogorni *et al.*, 2021).

A dificuldade de acesso a financiamento é um entrave recorrente para projetos localizados fora do SIN. A inexistência de linhas de crédito dedicadas e a ausência de garantias jurídicas para operações comunitárias limitam tanto a expansão quanto a replicabilidade das soluções de autogestão e das parcerias com ONGs (ENVOL, 2025). Mesmo projetos bem avaliados em termos de eficiência socioeconômica, como o Xingu Solar e a Resex Produtoras de Energia Limpa, enfrentam barreiras significativas para captação de recursos, obtenção de licenciamento e acesso a mercados formais de energia (ENVOL, 2025; Moreira, Lacerda Junior e Machado, 2024).

A regulamentação atual também não contempla mecanismos para a comercialização dos excedentes energéticos gerados localmente. Como resultado, comunidades que atingem autossuficiência energética ficam impossibilitadas de gerar receitas adicionais, o que dificulta o reinvestimento em manutenção, expansão dos sistemas e capacitação técnica (ENVOL, 2025). Esse contexto é agravado pela priorização de grandes obras de transmissão, como o Linhão Manaus-Boa Vista, que direcionam recursos para áreas urbanas e mantêm as populações ribeirinhas e tradicionais à margem dos principais benefícios (Melo *et al.*, 2023).

Relatos de campo ainda apontam resistência por parte das concessionárias à entrada de novos modelos institucionais e dificuldades de articulação entre diferentes órgãos governamentais. Melo *et al.* (2023) relatam que “a maioria das concessionárias consultadas mostrou-se pouco disposta a compartilhar infraestrutura ou facilitar a regularização de novos sistemas comunitários, alegando riscos à integridade do sistema e insegurança jurídica quanto à comercialização de excedentes.” No contexto amazônico, a fragilidade institucional e a complexidade logística aumentam os riscos de interrupção e descontinuidade do suporte técnico, comprometendo a sustentabilidade de iniciativas autogeridas (ENVOL, 2025).

A efetividade dos modelos comunitários de energia renovável na Amazônia é limitada por um arcabouço institucional e regulatório que privilegia a centralização e não reconhece as especificidades socioterritoriais da região. O avanço da transição energética com justiça e inclusão demanda reformas que reconheçam as minirredes como arranjos legítimos, assim



como instrumentos financeiros, jurídicos e técnicos compatíveis com a realidade das comunidades isoladas (ENVOL, 2025; Modesto *et al.*, 2025; Moreira, Lacerda Junior e Machado, 2024).

5.4 Justiça Energética, Soberania e o Futuro da Transição na Amazônia

O avanço da transição energética na Amazônia reforça a centralidade da justiça energética, compreendida como o direito à participação nas decisões, ao controle social e à distribuição equitativa dos benefícios das fontes renováveis, para além do simples acesso à eletricidade (Lembi *et al.*, 2025; ENVOL, 2025). Gutierrez (2025) ressalta que transições desiguais podem perpetuar exclusões históricas se políticas públicas e instrumentos financeiros não promoverem, de fato, inclusão comunitária e adaptação dos modelos participativos à realidade amazônica.

O desafio central não está apenas na substituição de fósseis por alternativas limpas, mas na autonomia comunitária sobre produção, operação e uso da energia. Experiências como o Xingu Solar demonstram que projetos com participação local geram empregos e melhoram indicadores sociais, como a permanência escolar (ENVOL, 2025; Moura *et al.*, 2025). Além disso, sistemas terceirizados respondem a falhas em 72–120 horas, enquanto arranjos autogeridos levam de 6 a 24 horas (ENVOL, 2025), aumentando a resiliência comunitária (David *et al.*, 2024).

Essas experiências confirmam a necessidade de superar arranjos top-down em favor de governança democrática, com transparência e prestação de contas. A descentralização associada à participação comunitária amplia a resiliência e permite apropriação social dos benefícios econômicos e territoriais, reduzindo dependência externa e fortalecendo a segurança energética (Condori; Santos; Silva, 2025; ENVOL, 2025). Contudo, persiste o risco do ecoextrativismo verde, em que a descarbonização reproduz práticas de exploração (Cavalcante, 2024; Cataia; Duarte, 2022). Cavalcante (2024) observa que “a lógica do ecoextrativismo, mesmo sob discurso sustentável, externaliza benefícios, enquanto comunidades amazônicas arcam com custos ambientais e sociais”. Exemplos incluem o redirecionamento de créditos de carbono, a concentração em grandes projetos solares e a ausência de consulta formal, que limitam direitos territoriais e autodeterminação (ENVOL, 2025).

Os dados indicam que a sustentabilidade técnica e operacional depende da soberania energética comunitária. A instalação de tecnologia limpa é insuficiente sem controle local sobre produção, distribuição e gestão, fator determinante para resiliência, aceitação e perpetuidade dos benefícios, como reforçam Sant’Anna, Bortoletto e Donda (2023). Experiências de campo mostram que participação ativa e controle comunitário impactam positivamente educação, empregos e economia (ENVOL, 2025; Moreira, Lacerda Junior e Machado, 2024).

Conclui-se que o alinhamento entre descarbonização, justiça social e autodeterminação territorial exige políticas que incentivem protagonismo comunitário com finanças e regulação adequadas. Esse entendimento aparece em diferentes estudos: Modesto *et al.* (2025) defendem maior capacitação técnica e governança local; a ENVOL (2025) enfatiza inclusão comunitária; e Lembi *et al.* (2025) aprofundam o debate sobre justiça e soberania energética. Para que a transição vá além da troca de matriz e se torne paradigma de desenvolvimento, é necessário criar diretrizes que formalizem minirredes, garantam retorno econômico às comunidades e ampliem a consulta aos povos tradicionais, consolidando a autogestão.

6. Considerações Finais

Este estudo sintetizou evidências de 36 documentos (de 2011 a 2025) para comparar como diferentes arranjos de concessão — centralizados, híbridos e comunitários — afetam a descarbonização e a justiça energética em Sistemas Isolados (SISOL) na Amazônia. De forma



factual e concisa, os resultados mostram que modelos comunitários autogeridos conciliam menores custos operacionais, maior disponibilidade, formação técnica local e ganhos sociais (emprego e permanência escolar), superando os limites recorrentes dos arranjos centralizados, marcados por custos elevados, baixa participação e dependência logística externa. Esses achados confirmam a hipótese de que a transição só é efetiva quando participação e governança comunitária estruturam a operação dos sistemas, integrando justiça, equidade e autodeterminação territorial.

Como conquistas do estudo, elenca-se: (i) mapeamento comparativo e criterioso dos modelos de concessão; (ii) identificação de indicadores técnico-econômicos e sociais que explicam diferenças de desempenho entre arranjos; (iii) demonstração de que “descentralização + capacitação continuada” estão associadas a melhores resultados ambientais e socioeconômicos; e (iv) sistematização de fatores institucionais que viabilizam (ou travam) a sustentabilidade operacional e a justiça energética.

Os achados fortalecem a literatura que vincula energia, governança e justiça: a mera substituição tecnológica, quando mantida a centralização decisória, não corrige desigualdades históricas. A evidência empírica reforça a tese de que soberania energética — participação efetiva, controle social e distribuição equitativa de benefícios — é condição para transformar acesso em inclusão e desenvolvimento local.

A pesquisa baseou-se predominantemente em fontes secundárias, sem coleta primária em campo; logo, recomenda-se cautela na generalização dos efeitos para toda a *Pan-Amazônia*, dada a heterogeneidade territorial e institucional. Além disso, métricas de longo prazo (p. ex., resiliência financeira das minirredes e manutenção da capacidade técnica local) ainda carecem de séries temporais mais extensas.

Em relação a problemas em aberto e agenda futura, permanecem como frentes prioritárias: (i) avaliações quase-experimentais que isolem efeitos de governança sobre indicadores técnicos e sociais; (ii) estudos longitudinais de custos de O&M e de reposição de baterias; (iii) desenho e teste de marcos regulatórios específicos para minirredes (com regras de comercialização de excedentes e salvaguardas para direitos territoriais); (iv) instrumentos de financiamento dedicados e métricas de retorno socioambiental; e (v) integração de tecnologias complementares (hidrocinética, biomassa sustentável e armazenamento) em arranjos comunitários.

Para alinhar descarbonização e justiça energética nos SISOL, recomenda-se: (a) formalizar juridicamente minirredes comunitárias; (b) instituir linhas de crédito direcionadas e fundos de O&M; (c) ancorar projetos em programas de formação técnica contínua e em arranjos de governança participativa; e (d) incorporar critérios de repartição local de benefícios (inclusive quando houver créditos de carbono), assegurando autonomia e renda nas comunidades.

A transição energética na Amazônia é tanto técnica quanto política: será sustentável quando for limpa, justa e conduzida com protagonismo comunitário. Os resultados aqui reunidos oferecem base para políticas e intervenções que reduzam emissões e ampliem direitos, reforçando que o controle local sobre a produção e a gestão da energia é chave para um desenvolvimento territorial duradouro.

Agradecimentos: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001; à Universidade de Brasília (UnB); e ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da UnB.



7. Referências

- ALMEIDA, Edmar de; PEREIRA, Vinícius. **Descarbonização de sistemas isolados na Amazônia através de Usinas Híbridas**. Ensaio Energético, 6 maio 2024. Disponível em: <https://ensaioenergetico.com.br/descarbonizacao-de-sistemas-isolados-na-amazonia-atraves-de-usinas-hibridas/>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- BARBOSA, Giovana Bosso; RABELO, Daiane Dias; SILVA, Fernanda Gabriela; MARTINS, Gabriela Domingos. Panorama do hidrogênio verde no Brasil: oportunidades e desafios para o futuro energético. **Revista de Gestão e Secretariado**, São José dos Pinhais, v. 16, n. 5, p. 01–15, 2025. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4969>
- BOGORNÍ, Anderson da Cruz; PERSCH, Hudson Carlos Avancini; PEREIRA, Ingrid Costa; RODRIGUES, Isadora Alessandra Barros; LEÃO, Laise Oliveira São; SILVA, Mateus Rodrigues. Poluentes e onerosos: o direito ao acesso à energia elétrica e as problemáticas geradas pelos sistemas isolados em Rondônia. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, Ariquemes, v. 12, ed. esp., p. 77-100, 2021. DOI: 10.31072/rcf.v12iedesp.904.
- BRANDÃO, Pedro Christo; SOUZA, Agostinho Lopes de; ROUSSET, Patrick; SIMAS, Felipe Nogueira Bello; MENDONÇA, Bruno Araujo Furtado de. **Forest biomass as a viable pathway for sustainable energy supply in isolated villages of Amazonia**. *Environmental Development*, [S.l.], v. 37, art. 100609, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100609>
- BUSTAMANTE, M. M. C.; KELLER, M.; SILVA, D. A. **Sources and sinks of trace gases in Amazonia and the Cerrado**. In: KELLER, Michael; BUSTAMANTE, Mercedes M. C.; GATTI, Paulo (Ed.). **Amazonia and Global Change**. Washington, D.C.: American Geophysical Union, 2009. p. 337-354. (Geophysical Monograph Series, 186). DOI: <https://doi.org/10.1029/2008GM000733>. Acesso em: 9 set. 2025.
- CASILLAS, Christian E.; KAMMEN, Daniel M. **The delivery of low-cost, low-carbon rural energy services**. *Energy Policy*, [S. l.], v. 39, p. 4520-4528, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.018>. Acesso em: 8 ago. 2025.
- CASTRO, Carlos Potiara. **Hidrelétricas e a geopolítica das energias renováveis na Amazônia**. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 24, e01291, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200129r1vu2021L2AO>. Acesso em: 7 set. 2025.
- CATAIA, Márcio; DUARTE, Luciano. **Território e energia: crítica da transição energética**. *Revista da ANPEGE*, [S. l.], 2022. DOI: 10.5418/ra2022.v18i36.16356. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/16356>. Acesso em: 8 ago. 2025.
- CAVALCANTE, Maria Madalena de Aguiar. **A Amazônia no centro da geopolítica global**. *Terra Livre*, São Paulo, ano 39, v. 2, n. 63, p. 221-241, jul./dez. 2024.
- CONDORI, Victor Raul Huaman; SANTOS, Everton Diniz dos; SILVA, Naiara Firmiano Fabiano da. **Turbinas Submersas como Alternativa Energética Sustentável nos Rios da Amazônia: Uma Revisão**. *Olam: Ciência & Tecnologia*, v. 20, n. 1, p. 201-216, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.14968650. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/olam/index/>. Acesso em: 11 jul. 2025.
- DAVID, Thamyres Machado; SOUZA, Teófilo Miguel de; RIZOL, Paloma Maria Silva Rocha. **Photovoltaic systems: a review with analysis of the energy transition in Brazilian culture, 2018-2023**. *Energy Informatics*, v. 7, n. 14, p. 1-24, 2024. DOI: 10.1186/s42162-024-00316-4.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Energia solar para suprimento de sistemas isolados do Amazonas: avaliação da atratividade econômica de solução híbrida em sistemas do Grupo B do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Amazonas**. Brasília, DF: EPE, 2016. (Nota Técnica EPE-DEE-NT-091/2016-r0). Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-290/NT%20Sist%20H%C3%ADbrido%20Grupo%20B%20AmE%20%20\(EPE-DEE-NT-091_2016-r0\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-290/NT%20Sist%20H%C3%ADbrido%20Grupo%20B%20AmE%20%20(EPE-DEE-NT-091_2016-r0).pdf). Acesso em: 5 ago. 2025.
- ENVOL. **Descarbonização dos sistemas isolados da Amazônia: relatório preparado para a Frente Nacional dos Consumidores de Energia (FNCE)**. [S.l.]: Envol Energy Consulting, 2025. Disponível em: https://consumidoresdeenergia.org/wp-content/uploads/2025/05/FNCE_Descarbonizacao-da-energia-eletrica-na-Amazonia-Legal-_14_5_2025.pdf. Acesso em: 11 ago. 2025.



FRARE, Julio Cesar Vieira; MARTINS, Gabriel Caixeta; FREITAS, Ludmila de; OLIVEIRA, Ivanildo Amorim de; RAMOS, Silvio. **Bioeconomia na Amazônia: importância da matéria orgânica do solo para a manutenção dos sistemas produtivos**. Research, Society and Development, v. 12, n. 2, p. e28512240261, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i2.40261.

GUTIERREZ, Maria Bernadete G. P. Sarmiento. **Energia e sustentabilidade no Brasil: desafios e perspectivas num contexto de transição energética**. Brasília, DF: Ipea, 2025. (Texto para Discussão, n. 3130).

HOUGHTON, R. A.; SKOLE, D. L.; NOBRE, Carlos A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. **Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon**. *Nature*, London, v. 403, p. 301-304, 20 jan. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1038/35002062>

KLEIN, Tarcísio de O.; KLEIN, Amanda; MAYA, Diego M. Y.; SARMIENTO, Angie L. E. **Impactos da utilização de turbinas hidrocinéticas de queda ultra baixa em sistemas híbridos de energia renovável em uma comunidade isolada**. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 16., 2024, Concepción. *Anais [...]*. Concepción, Chile: [s.n.], 2024. p. 1-8. Disponível em: <https://oai.e-spacio.uned.es/server/api/core/bitstreams/89184c6e-377c-486b-a2e1-7dedda1f967e/content>

LEMBI, Rafael; LOPEZ, Maria Claudia; RAMOS, Karina Ninni; JOHANSEN, Igor Cavallini; SILVA, Lázaro João Santana da; SANTOS, Manoel Roberval Pimentel; LACERDA, Gabriel Yúri Campos; NEULS, Gisele Souza; MORAN, Emilio. **Towards energy justice and energy sovereignty: Participatory co-design of off-grid systems in the Brazilian Amazon**. *Energy Research & Social Science*, [S.l.], v. 119, p. 103858, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103858>

MEJDALANI, Anelise; RAMOS, Danilo. A brighter future: the impact of rural school electrification programs on the dropout rate in primary education in Brazil. **Nota Técnica Nº IDB-TN-1582**. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329813469_A_brighter_future_The_impact_of_rural_school_electrification_programs_on_the_dropout_rate_in_primary_education_in_Brazil_Energy_Division_Infrastructure_and_Energy_Sector. Acesso em: 21 jul. 2025.

MELO, Albert C. G.; HONDA, Jorge L.; CARVALHO, Antônio R. D.; ZANI, Cesar R.; COSTA, Guilherme B.; SILVA, Magno J.; CAXEIXA, Paulo J. V. **Uma proposta para integração ao Sistema Interligado Nacional de localidades isoladas da margem direita do Baixo Amazonas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, 16.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 10., 2023, Natal. *Anais [...]*. Natal: Sociedade Brasileira de Automática, 2023. p. 1959-1966. DOI: <https://doi.org/10.20906/SBAI-SBSE-2023/4077>

MODESTO, Rennan Santiago; PEREIRA, Bartolomeu Miranda; CARMO FILHO, Manoel Martins do; CARVALHO, Antonio Ronaldo Madeira de. **Matriz energética sustentável na Amazônia: uma revisão sistemática**. *Revista Foco*, São Luís, v. 18, n. 7, p. 01-18, 15 jul. 2025. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v18n7-043>

MOREIRA, Beth Luna Monteiro; LACERDA JUNIOR, José Cavalcante; MACHADO, Ana Lucia Soares. **DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA ENERGIA SOLAR EM MANAUS**. *Revista Foco*, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 01-18, 2024.

MOREIRA, Denilson Nunes; MANZATTO, Angelo Gilberto. **As potencialidades que favorecem ao desenvolvimento sustentável na Amazônia**. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, Curitiba, v. 12, n. 3, p. 751-777, set./dez. 2023.

MOURA, Maria Eduarda Leonardo de; JESUS, Aurea Messias de; REIS, Alan Kardec Candido dos; CASTILHO, Deives Ferreira; GUIMARAES, Emerson Carlos; OLIVEIRA, Gabriela Costa de. **Análise geral dos desafios na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica na Amazônia Legal: aspectos técnicos, econômicos, sociais e de planejamento estratégico**. *Revista Caderno Pedagógico*, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 01-18, 17 jan. 2025. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n1-295>

MUNIZ, Rafael Ninno; SÁ, José Alberto Silva de; ROCHA, Brigida Ramati Pereira da. **Challenges and opportunities for universal access to electricity in the Amazon**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND ELECTRICAL ENGINEERING, 15., 2015, Roma. *Proceedings [...]*. Roma: IEEE, 2015. p. 408-413.



NUNES, Eduardo Elias; SANTOS NETO, Aldir Ferreira dos; GONÇALO, Thiago Araújo; TORNÉ, Israel Gondres; GOMES, Raimundo Cláudio Souza. **Estudo das alternativas energéticas baseadas em fontes de geração renováveis para a eletrificação dos sistemas isolados da Amazônia.** *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 8, p. 56323-56329, ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-096>

OLIVEIRA, Luiz Gustavo S. de; HERNANDEZ, Alejandro; SEDANO, Richard; SHENOT, John. **Roadmap for Electricity Access as a Development Driver in the Legal Amazon.** Montpelier, VT: Regulatory Assistance Project, 2024.

OLIVEIRA, Marcela Alvares; EL BIZRI, Hani R.; MORCATTY, Thais Q.; BRAGA-PEREIRA, Franciany; FA, Julia E.; MESSIAS, Mariluce Rezende; DORIA, Carolina Rodrigues da Costa. **The role of religion, wealth, and livelihoods in the hunting practices of urban and rural inhabitants in Western Amazonia.** *Human Ecology*, New York, v. 51, p. 1239-1252, Dec. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-023-00467-0>

RELVA, Stefania Gomes; SILVA, Vinicius Oliveira da; LIMA, Thiago Melo de; LIMA, Lucas Matheus de Sousa; DAVID, Rafael Meirelles. Caracterização do recurso solar de longo prazo para geração fotovoltaica na região amazônica: uma análise de três localidades no estado do Acre. *Revista Brasileira de Energia*, v. 29, n. 2, p. 11-37, 2º trim. 2023. DOI: <https://doi.org/10.47168/rbe.v29i2.714>

RESTREPO-COUBE, Natalia; ALBERT, Loren P.; LONGO, Marcos; BAKER, Ian; LEVINE, Naomi M.; MERCADO, Lina M.; ARAÚJO, Alessandro C. de; CHRISTOFFERSEN, Bradley O'Donnell; COSTA, Marcos H.; FITZJARRALD, David R.; GALBRAITH, David; IMBUZEIRO, Hewlley; MALHI, Yadvinder; RANDOW, Celso von; ZENG, Xubin; MOORCROFT, Paul; SALESKA, Scott R. **Understanding water and energy fluxes in the Amazonia: lessons from an observation-model intercomparison.** *Global Change Biology*, v. 27, n. 9, p. 1802-1819, maio 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15555>

SANTANA, Milena Bastos de; MENEZES, Gustavo Carvalho; BRANDÃO, Paulo Victor Rocha; BRANCO, Rafael Carvalho Castello; ARAÚJO, Danielly Norberto; RESENDE, Vinicius Bastos. **Captura de carbono: avanços e desafios das tecnologias no contexto energético.** *Latin American Journal of Energy Research*, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 264-282, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21712/lajer.2024.v11.n2.p264-282>

SANT'ANNA, Fernanda Mello; BORTOLETTO, Pedro Henrique Casalecchi; DONDA, Arianne Caus. Just energy transition in Amazonia and the hydropower plants. **Revista Tempo do Mundo**, Brasília, DF, n. 32, p. 167-201, ago. 2023. DOI: 10.38116/rtm32art5.

SANTOS, Daniel Odilio dos; NASPOLINI, Helena Flávia; NASCIMENTO, Lucas Rafael do; OLIVEIRA, Aline Kirsten Vidal de; RUTHER, Ricardo. **Transição energética em redes isoladas: papel da geração fotovoltaica e do armazenamento de energia na descarbonização de Fernando de Noronha.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 10., 2024, Natal. *Anais [...]*. Natal: [s.n.], 2024. DOI: <https://doi.org/10.59627/cbens.2024.2428>

SILVA, Eugenia Cornils Monteiro da; LIRA, Marcos Antonio Tavares; GONÇALVES, Marcelo Carneiro; SILVA, Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da; JEAN, Wesly; SANTOS JÚNIOR, Raimundo Batista dos. **The Role of Renewable Energies in Combating Poverty in Brazil: A Systematic Review.** *Sustainability*, Basel, v. 16, n. 13, p. 5584, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16135584>

SOUZA, Rubem; TRINDADE, Alessandro. **A biomassa como solução energética para o estado do Amazonas.** In: CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 10., 2015, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015.

YAQOOT, Mohammed; DIWAN, Parag; KANDPAL, Tara C. **Review of barriers to the dissemination of decentralized renewable energy systems.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, p. 477-490, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.224.