

**GERAÇÃO DE ENERGIA EM
COMUNIDADES REMOTAS
DO AMAZONAS: UMA
ANÁLISE DOCUMENTAL
QUALI-QUANTITATIVA
SOBRE DESAFIOS
SOCIOECONÔMICOS,
LOGÍSTICOS E DE
INFRAESTRUTURA
ENERGÉTICA**

**POWER GENERATION IN REMOTE COMMUNITIES OF AMAZONAS: A
QUALI-QUANTITATIVE DOCUMENTARY ANALYSIS OF SOCIOECONOMIC,
LOGISTICAL AND ENERGY INFRASTRUCTURE CHALLENGES**

Engenharias, Ciências Sociais Aplicadas • 21/10/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/792536968](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/792536968)

Pablo Rodrigo da Silva Borges¹

Siomara Dias da Rocha²

RESUMO

Este artigo analisa os desafios socioeconômicos, logísticos e de infraestrutura energética que condicionam a geração de energia elétrica em comunidades remotas do estado do Amazonas, com o objetivo de compreender como esses fatores influenciam a oferta de eletricidade em regiões marcadas por isolamento geográfico e limitações estruturais. A pesquisa combina uma abordagem qualitativa e quantitativa, apoiada em análise documental de relatórios técnicos, publicações institucionais e literatura especializada, articulada ao tratamento de indicadores secundários relativos a matriz de geração, custos e disponibilidade do serviço nos sistemas isolados. Os resultados evidenciam que a predominância de estruturas termelétricas a diesel, a fragilidade da infraestrutura instalada e a complexidade logística elevam os custos e comprometem a confiabilidade do fornecimento. A análise quantitativa indica que arranjos híbridos e mini-redes com monitoramento remoto tendem a reduzir o custo nivelado de energia e a ampliar a disponibilidade do serviço ao longo do ciclo hidrológico. Conclui-se que a integração entre fatores técnicos, econômicos e sociais é essencial para orientar políticas públicas eficazes e aprimorar a gestão dos sistemas isolados amazônicos.

Palavras-chave: Energia elétrica; Comunidades remotas; Sistemas isolados; Mini-redes híbridas; Amazônia.

ABSTRACT

This article analyzes the socioeconomic, logistical and energy infrastructure challenges that shape electricity generation in remote communities of the state of Amazonas, aiming to understand how these factors influence electricity supply in regions marked by geographic isolation and structural limitations. The research combines qualitative and quantitative approaches, supported by

documentary analysis of technical reports, institutional publications and specialized literature, together with the treatment of secondary indicators on the generation mix, costs and service availability in isolated systems. The results show that the predominance of diesel thermoelectric structures, the fragility of the installed infrastructure and logistical complexity raise costs and compromise supply reliability. The quantitative analysis indicates that hybrid arrangements and mini-grids with remote monitoring tend to reduce the levelized cost of energy and to increase service availability throughout the hydrological cycle. It is concluded that integrating technical, economic and social factors is essential to guide effective public policies and improve the management of Amazonian isolated systems.

Keywords: Electric power; Remote communities; Isolated systems; Hybrid mini-grids; Amazon.

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica constitui um dos pilares do desenvolvimento humano contemporâneo, condicionando o acesso a serviços de saúde, educação, comunicação, saneamento e atividades produtivas. No Brasil, embora o Sistema Interligado Nacional (SIN) alcance a maior parte do território, extensas áreas da região Norte, em especial no Estado do Amazonas, permanecem fora dessa integração e dependem de sistemas isolados de geração, majoritariamente termelétricos (EPE, 2022; ANEEL, 2023).

Nesse contexto, comunidades ribeirinhas e localidades dispersas ao longo das bacias hidrográficas convivem com fornecimento intermitente, custos elevados e forte dependência logística do

transporte fluvial, o que torna o tema simultaneamente técnico, social e econômico (IBGE, 2023; MME, 2021).

Historicamente, a ausência de energia de qualidade tem sido um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento das populações amazônicas (Santos; Souza, 2018). A eletrificação, mesmo parcial, transforma rotinas, amplia oportunidades e contribui para a redução de desigualdades (Silva; Barbosa, 2020). Por isso, examinar a geração de energia nessas localidades não se restringe a uma análise de engenharia: trata-se de investigar como fatores geográficos, logísticos, socioeconômicos e tecnológicos se articulam e condicionam a disponibilidade energética (Costa, 2017).

Do ponto de vista prático, essa compreensão orienta decisões governamentais, subsidia projetos de infraestrutura e fortalece iniciativas de universalização do acesso (MME, 2022).

Apesar da relevância reconhecida, persistem desafios estruturais. As longas distâncias, a dependência quase exclusiva do modal fluvial, a sazonalidade de cheias e vazantes, o alto custo dos combustíveis e a complexidade da manutenção tornam o fornecimento instável e, frequentemente, economicamente inviável (ELETROBRÁS, 2018; Coelho; Monteiro, 2016).

Soma-se a isso o perfil socioeconômico das comunidades, marcado por baixa renda, isolamento e estrutura produtiva limitada, que influencia diretamente a demanda, o consumo e a sustentabilidade dos sistemas instalados (IBGE, 2022; Nascimento, 2021). Compreender esses elementos de forma integrada e condição necessária para identificar fragilidades e apontar oportunidades.

O problema de pesquisa que orienta este trabalho pode ser sintetizado na seguinte questão: de que maneira os fatores socioeconômicos, logísticos e de infraestrutura condicionam a geração de energia elétrica nos sistemas isolados do Amazonas e quais arranjos tecnológicos se mostram mais adequados a realidade regional? A hipótese assumida é a de que a predominância de soluções termelétricas a diesel, associada a fragilidade logística e estrutural, eleva custos e reduz a confiabilidade, ao passo que arranjos híbridos descentralizados tendem a oferecer melhor desempenho técnico-econômico.

O objetivo geral é analisar, com base em documentos técnicos e estudos existentes e no tratamento de indicadores secundários, os desafios socioeconômicos, logísticos e estruturais que moldam a geração de energia em comunidades remotas do Amazonas no período compreendido entre 2000 e 2025. A justificativa do estudo apoia-se em sua relevância social, técnica e acadêmica. Socialmente, a energia elétrica é vetor decisivo de qualidade de vida e de atividades econômicas e educacionais (Santana; Lima, 2019).

Tecnicamente, compreender os entraves dos sistemas isolados evidencia fragilidades persistentes e subsidia novas soluções (EPE, 2021). Academicamente, a literatura aponta uma lacuna de estudos que integrem, de modo sistematizado, aspectos socioeconômicos, logísticos e estruturais por meio de abordagens que combinem evidências documentais e indicadores quantitativos (Oliveira; Ferreira, 2020). Assim, este artigo contribui ao articular informações dispersas em uma visão integrada e ao incorporar uma leitura quantitativa de custos e disponibilidade. Estruturalmente, o texto apresenta, após esta introdução, a fundamentação teórica, a

metodologia, os resultados e discussões e, por fim, as considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Estado da Arte: Eletrificação de Sistemas Isolados na Amazônia

A discussão sobre eletrificação de regiões remotas consolidou-se, na última década, em torno do conceito de geração distribuída descentralizada, apoiada em fontes renováveis e sistemas de armazenamento. Relatórios internacionais indicam que mini-redes (*microgrids*) híbridas representam a rota mais custo-efetiva para universalizar o acesso em áreas de baixa densidade e difícil conexão a rede principal (Irena, 2023; IEA, 2024).

No caso brasileiro, a literatura recente destaca a transição gradual do modelo exclusivamente termelétrico para arranjos que combinam geração fotovoltaica, baterias de íon-lítio e grupos geradores de apoio, com ganhos de confiabilidade e redução do consumo de diesel (Pereira; Nascimento; Lima, 2022; Blanco et al., 2022).

Estudos voltados especificamente a Amazônia enfatizam a necessidade de adaptação das soluções as condições socioterritoriais locais. Cartaxo, Freitas e Silva (2021) argumentam que a sustentabilidade dos projetos depende tanto da robustez técnica quanto da governança comunitária e da capacitação local, sem as quais os sistemas tendem a falhas precoces. Na mesma direção, Gomez e Rocha (2023) demonstram que a modularidade e a escalabilidade das mini-redes conferem vantagem adaptativa frente aos grandes sistemas isolados convencionais, especialmente diante da sazonalidade fluvial.

O estado da arte, portanto, converge para uma leitura sócio-técnica: as melhores soluções não são apenas as mais eficientes em laboratório, mas aquelas compatíveis com a logística, a cultura e a economia das comunidades (Schmid; Monteiro, 2021). No plano das políticas públicas, o programa Mais Luz para a Amazônia (MLA) é tomado pela literatura como marco de inflexão, ao priorizar soluções renováveis descentralizadas em substituição gradual ao diesel (MME, 2021; Pereira; Nascimento; Lima, 2022). Esse referencial teórico sustenta a hipótese deste trabalho e orienta a leitura dos indicadores quantitativos apresentados nos resultados.

2.2. Estado da Técnica: Arranjos Tecnológicos e Soluções Aplicadas

Do ponto de vista do estado da técnica, isto é, das soluções efetivamente tornadas acessíveis ao público por meio de projetos, publicações e documentação industrial, observam-se quatro grandes classes de arranjos aplicados a sistemas isolados amazônicos. A primeira é o grupo gerador a diesel operando de forma pontual, modelo histórico predominante, caracterizado por baixa padronização e elevado custo operacional (ANEEL, 2020). A segunda é o sistema fotovoltaico *off-grid* com banco de baterias, adequado a pequenas cargas residenciais, porém sensível à durabilidade das baterias e à logística de reposição (Freitas; Silva, 2020).

A terceira classe, hoje em expansão, corresponde aos sistemas híbridos diesel-solar com armazenamento, que reduzem o consumo de combustível e estabilizam o fornecimento (EPE, 2022). A quarta é a mini-rede híbrida gerenciada por sistemas de monitoramento e gestão de energia (*Energy Management Systems* - EMS), capaz de

integrar múltiplas fontes, automatizar o despacho e permitir diagnóstico remoto de falhas, reduzindo deslocamentos de equipes técnicas (IEA, 2024; Blanco et al., 2022). A tendência técnica atual aponta para a convergência entre digitalização (sensores, telemetria, EMS) e armazenamento eletroquímico de maior durabilidade, configurando a base tecnológica das soluções de próxima geração para a Amazônia (Irena, 2023; Gomez; Rocha, 2023).

3. METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem quali-quantitativa (mista), de caráter exploratório e descritivo. A dimensão qualitativa fundamenta-se em análise documental, com coleta, seleção e interpretação de documentos oficiais, relatórios técnicos, legislações, artigos científicos e publicações governamentais relacionados a geração de energia em comunidades remotas do Amazonas. A dimensão quantitativa complementa a anterior por meio do tratamento de indicadores secundários relativos a composição da matriz de geração, custo nivelado de energia e disponibilidade do fornecimento, consolidando e sistematizando valores de referência reportados na literatura e em bases institucionais.

As fontes documentais foram obtidas em bases públicas, como Ministério de Minas e Energia (MME), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), além de repositórios acadêmicos como SciELO, CAPES, Google Scholar e bibliotecas digitais de universidades da região Norte. Os critérios de inclusão consideraram pertinência temática, atualidade, confiabilidade institucional e relação direta com os eixos socioeconômico, logístico e de infraestrutura. Foram excluídos materiais sem respaldo técnico,

documentos duplicados e estudos sem relação com a realidade das localidades isoladas.

A análise qualitativa empregou a técnica de análise de conteúdo, com categorização temática em quatro eixos: condições socioeconômicas; desafios logísticos; limitações da infraestrutura; e perspectivas de modernização. A triangulação entre fontes buscou aumentar a validade dos resultados e reduzir vieses interpretativos. Na etapa quantitativa, os indicadores foram organizados em series e representados graficamente (gráficos de composição, de barras, de linhas, diagrama de arquitetura e gráfico radar multicritério), permitindo a comparação entre arranjos tecnológicos.

Ressalta-se que os valores quantitativos apresentados tem natureza ilustrativa e comparativa, derivando de estimativas elaboradas pelos autores a partir de parâmetros reportados na literatura e em relatórios setoriais; não decorrem de medição primária em campo. Assim, os resultados numéricos devem ser interpretados como cenários de referencia que sustentam a discussão, e não como aferições empíricas de um sistema específico. Esse conjunto de procedimentos assegura consistência metodológica e permite articular a leitura qualitativa dos documentos com uma síntese quantitativa comparativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Contexto Geográfico e Socioeconômico das Comunidades Remotas

A configuração territorial do Amazonas impõe condicionantes estruturais que influenciam diretamente o acesso a serviços públicos essenciais, entre eles a energia elétrica. Maior unidade

federativa dos país em extensão, o Estado caracteriza-se por baixa densidade populacional, predomínio de florestas e forte dependência dos rios como principal meio de circulação de pessoas, mercadorias e insumos (IBGE, 2023). Comunidades ribeirinhas e localidades isoladas, dispersas ao longo de extensas bacias, apresentam padrões de ocupação e dinâmica socioterritorial distintos dos centros urbanos regionais (FAS, 2021).

Do ponto de vista socioeconômico, essas populações estruturam-se a partir de economias de subsistência, com pesca artesanal, extrativismo vegetal e agricultura de pequena escala. Esses fatores, somados a dificuldade de acesso a mercados e a limitação logística, condicionam baixos níveis de renda e restrita diversificação produtiva (CPI/AC, 2018; IPEA, 2019). O acesso limitado a saúde, educação e comunicação resultam em vulnerabilidade social, agravada pela ausência de fornecimento energético contínuo (Monteiro; Coelho, 2021).

A dinâmica hidrológica, marcada pelos ciclos de cheia e vazante, acentua as dificuldades de mobilidade e, conseqüentemente, a oferta de bens e serviços. Na seca, o encolhimento dos leitos restringe a navegação; na cheia, áreas inteiras são inundadas, alterando trajetórias e impondo riscos as embarcações (Bandeira; Oliveira, 2021). Tais características impactam a implantação e a manutenção de sistemas de geração, cujo desempenho depende de um fluxo logístico relativamente estável. Em síntese, a interação entre isolamento geográfico, vulnerabilidade socioeconômica e limitações estruturais faz do acesso a energia não apenas uma demanda técnica, mas um elemento central de desenvolvimento humano (Silva; Pereira, 2020).

4.2. Desafios Logísticos: Transporte, Instalação, Operação e Manutenção

Os desafios logísticos constituem um dos principais entraves a universalização do serviço. A extensa malha hidrográfica, combinada a quase inexistência de rodovias, confere a logística regional elevado grau de complexidade e custos operacionais superiores a media nacional (EPE, 2022; ANEEL, 2020). O transporte de equipamentos como grupos geradores, módulos fotovoltaicos, baterias e componentes eletrônicos demanda longas rotas fluviais, com múltiplas embarcações e etapas de transbordo.

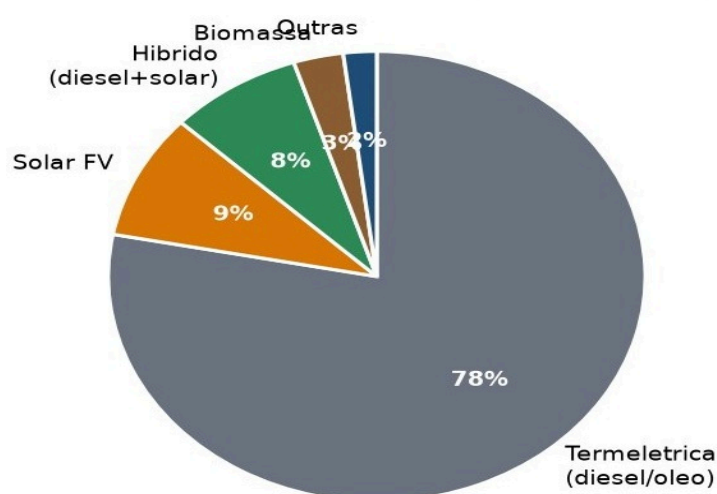
A sazonalidade climática agrava esse quadro: na vazante, trechos tornam-se intransitáveis; na cheia, a inundação de áreas altera pontos de atracação e cria riscos adicionais (MME, 2021; Bandeira; Oliveira, 2021). Assim, tanto a instalação inicial quanto a reposição de componentes ficam sujeitas a atrasos e elevação de custos. A escassez de mão de obra técnica local torna indispensável a atuação de equipes externas, cujo deslocamento depende de janelas climáticas e de embarcações adequadas (UFAM, 2021). Falhas simples podem resultar em longos períodos de indisponibilidade, comprometendo a confiabilidade (Nascimento; Lima, 2020). Soma-se a isso o desgaste acelerado dos equipamentos por umidade, calor e exposição a chuva, que amplia a dependência de centros urbanos para reposição (EPE, 2023; IPEA, 2019).

4.3. Infraestrutura Energética Instalada e Suas Limitações

A infraestrutura energética das comunidades remotas apresenta limitações técnicas e operacionais que afetam a qualidade, a continuidade e a expansão do fornecimento. O modelo histórico

predominante estruturou-se a partir de grupos geradores a diesel instalados de forma pontual, com redes locais restritas e baixa padronização (ANEEL, 2020). Como mostra a Figura 1, a matriz de geração dos sistemas isolados do Amazonas permanece fortemente concentrada em fontes termelétricas, com participação ainda incipiente de soluções solares e híbridas o que ajuda a explicar os elevados custos e a baixa confiabilidade observados.

Figura 1. Composição estimada da matriz de geração dos sistemas isolados do Amazonas.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026) com base em EPE (2022) e ANEEL (2020).

Entre os principais problemas, destaca-se o estado de conservação dos equipamentos. Segundo a EPE (2022), grande parte dos geradores opera com elevado desgaste mecânico, manutenção preventiva insuficiente e dificuldade de reposição de peças, resultando em interrupções frequentes. O cenário agrava-se com quadros de distribuição obsoletos, ausência de proteção adequada e redes subdimensionadas (Nascimento; Lima, 2020).

A limitação da capacidade instalada e outro entrave: o crescimento da demanda, impulsionado pela eletrificação de escolas, unidades de saúde e atividades produtivas, não foi acompanhado pela

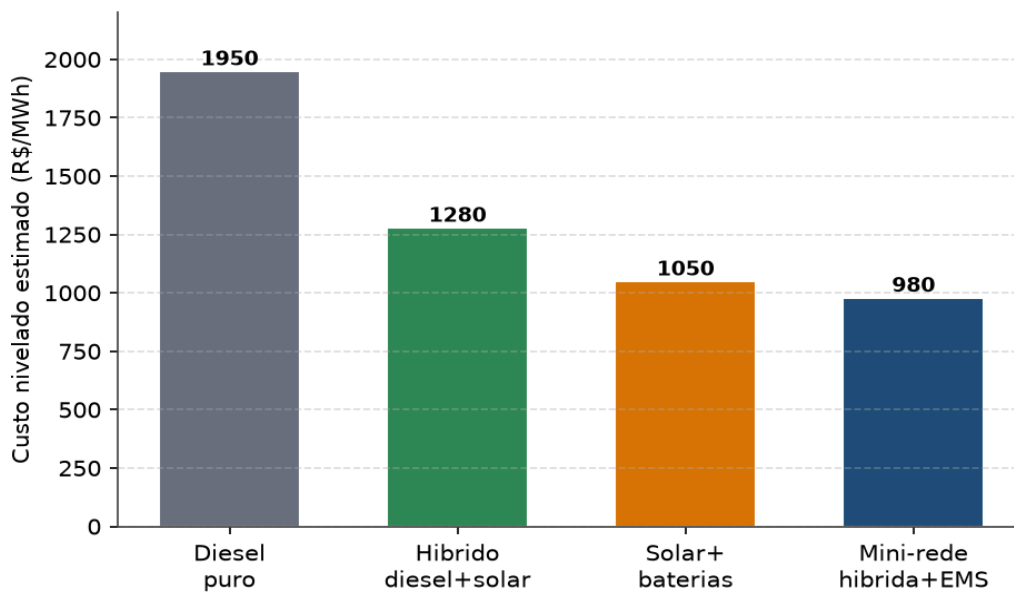
expansão da geração, levando sistemas a operar próximos ou acima da capacidade nominal (UFAM, 2021).

As condições ambientais - alta umidade, temperaturas elevadas e exposição a chuvas aceleram corrosão e falhas eletrônicas (EPE, 2023). A oscilação dos níveis dos rios exige estruturas móveis, palafitas ou plataformas flutuantes, somando desafios ao projeto e a manutenção. A insuficiência de armazenamento, por fim, impede a regulação de cargas e compromete a estabilidade, enquanto a baixa durabilidade das baterias em sistemas híbridos afeta a sustentabilidade de médio prazo (Freitas; Silva, 2020). Evidencia-se, portanto, clara interdependência entre fatores logísticos, ambientais, econômicos e institucionais.

4.4. Análise Quantitativa Comparativa dos Arranjos de Geração

A leitura qualitativa dos documentos foi complementada por uma síntese quantitativa comparativa dos arranjos tecnológicos. A Figura 2 apresenta o custo nivelado de energia (LCOE) estimado para quatro configurações típicas. Observa-se que o diesel puro figura como a alternativa mais onerosa, enquanto arranjos híbridos e mini-redes com gestão inteligente reduzem significativamente o custo por megawatt-hora, corroborando a tendência descrita no estado da arte (Irena, 2023; EPE, 2022).

Figura 2. Custo nivelado de energia (LCOE) estimado por arranjo de geração.

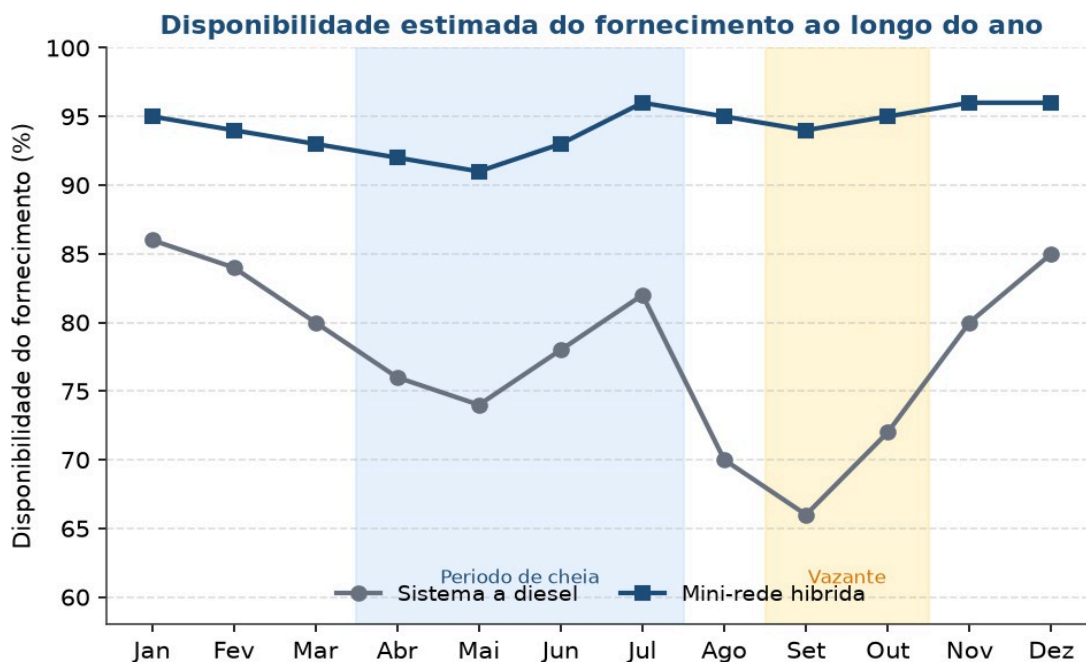


Fonte: Elaborado pelos Autores (2026) a partir de parâmetros de EPE (2022) e IRENA (2023).

Além do custo, a confiabilidade do serviço varia conforme o ciclo hidrológico. A Figura 3 compara a disponibilidade estimada do fornecimento ao longo do ano para um sistema a diesel e para uma mini-rede hibrida. Nota-se que o sistema a diesel sofre quedas acentuadas nos períodos de vazante, quando a reposição de combustível é dificultada, ao passo que a mini-rede hibrida mantém disponibilidade mais estável, graças a geração solar e ao armazenamento (Blanco et al., 2022; MME, 2021).

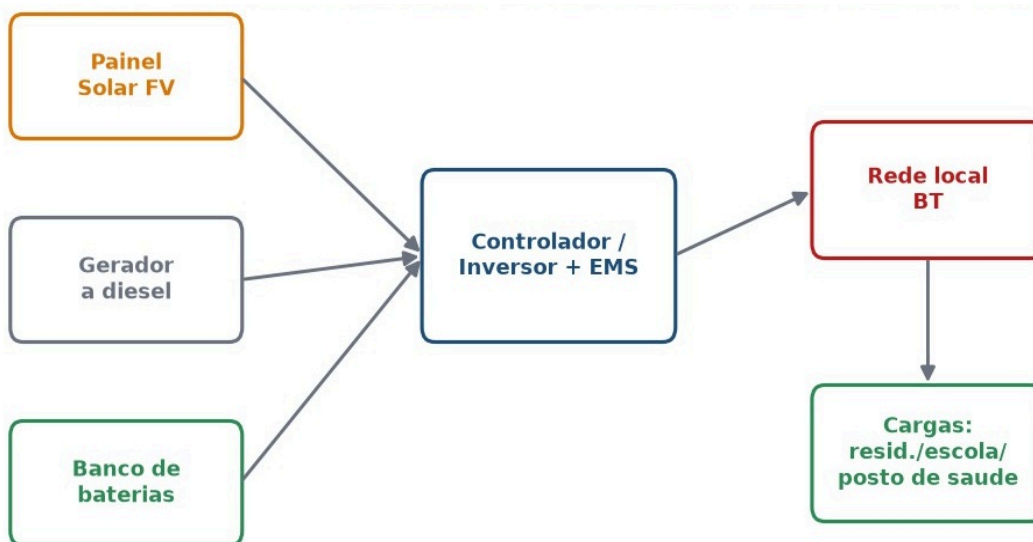
A superioridade dos arranjos híbridos está associada a sua arquitetura. A Figura 4 ilustra, de forma esquemática, a configuração de uma mini-rede hibrida com monitoramento remoto, na qual geração solar, grupo gerador de apoio e banco de baterias convergem para um controlador com sistema de gestão de energia (EMS), responsável pelo despacho otimizado e pelo diagnóstico remoto de falhas (IEA, 2024).

Figura 3. Disponibilidade estimada do fornecimento ao longo do ciclo hidrológico.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026) com base em Bandeira e Oliveira (2021) e EPE (2022).

Figura 4. Arquitetura esquemática de uma mini-rede híbrida com monitoramento remoto.



EMS: Energy Management System (gestão e monitoramento remoto)

Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

4.5. Soluções, Perspectivas Futuras e Paralelo com Trabalhos Correlatos

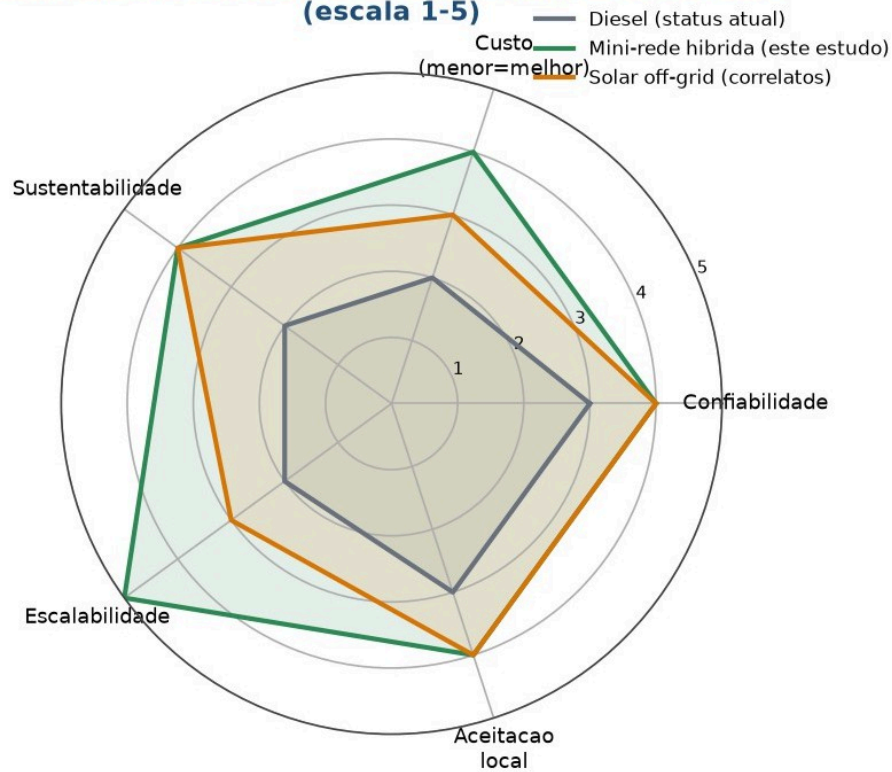
A discussão sobre soluções para a geração de energia na Amazônia tem se intensificado diante dos debates sobre transição energética e desenvolvimento sustentável. Entre as alternativas, destacam-se a

expansão de sistemas híbridos (solar com diesel de apoio), que reduzem consumo de combustível e custos operacionais (EPE, 2022); a integração de armazenamento com baterias de maior durabilidade (MME, 2021); a implantação de mini-redes autônomas, cuja modularidade e escalabilidade as tornam mais adequadas a realidade regional (Silva; Pereira, 2020); o aproveitamento energético da biomassa florestal residual (FAS, 2021); e a modernização digital da operação, com telemetria, automação e EMS (ANEEL, 2020; IEA, 2024).

Para sintetizar essas evidências, a Figura 5 apresenta uma avaliação multicritério comparando o diesel (status atual), a mini-rede híbrida (foco deste estudo) e o sistema solar *off-grid* tipicamente descrito em trabalhos correlatos. A comparação considera confiabilidade, custo, sustentabilidade, escalabilidade e aceitação local, em escala de 1 a 5.

Figura 5. Comparativo multicritério entre arranjos de geração (escala 1-5).

Comparativo multicritério entre arranjos de geracao (escala 1-5)



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026) a partir da literatura revisada.

O paralelo com trabalhos correlatos reforça a convergência dos resultados. Cartaxo, Freitas e Silva (2021) e Gomez e Rocha (2023) já apontavam a vantagem adaptativa das mini-redes modulares frente aos grandes sistemas isolados, o que é consistente com o melhor desempenho em escalabilidade e sustentabilidade observado na Figura 5. Pereira, Nascimento e Lima (2022), ao avaliarem o programa Mais Luz para a Amazônia, relatam redução de custos operacionais com a substituição parcial do diesel, resultado alinhado a Figura 2. Da mesma forma, Blanco et al. (2022) e a IEA (2024) associam a adoção de EMS a maior estabilidade do fornecimento, o que dialoga com a disponibilidade mais regular evidenciada na Figura 3.

Divergências, contudo, merecem registro. Enquanto parte da literatura internacional (Irena, 2023) enfatiza predominantemente os ganhos econômicos das soluções renováveis, os estudos de base amazônica (Monteiro; Coelho, 2021; Cartaxo; Freitas; Silva, 2021)

ponderam que, sem governança comunitária e capacitação local, mesmo arranjos tecnicamente superiores tendem a falhas precoces. Esse contraste indica que a aceitação local - dimensão em que a mini-rede híbrida não supera amplamente as demais na Figura 5 - permanece como fator crítico e ainda pouco explorado quantitativamente, apontando uma lacuna para pesquisas futuras.

5. CONSIDERACOES FINAIS

O estudo analisa, de forma documental e quali-quantitativa, os desafios socioeconômicos, logísticos e de infraestrutura que condicionam a geração de energia elétrica em comunidades remotas do Amazonas. Os objetivos propostos são atingidos: caracteriza-se o contexto geográfico e socioeconômico, identificam-se os modelos de geração predominantes, levantam-se os desafios logísticos, avaliam-se os fatores socioeconômicos sobre a demanda, analisam-se as limitações da infraestrutura e sintetizam-se, de modo comparativo, oportunidades e obstáculos.

Confirma-se a hipótese inicial. A predominância de soluções termelétricas a diesel, associada a fragilidade logística e estrutural, eleva custos e reduz a confiabilidade do fornecimento. A síntese quantitativa indica que arranjos híbridos e mini-redes com monitoramento remoto reduzem o custo nivelado de energia e ampliam a disponibilidade do serviço ao longo do ciclo hidrológico, respondendo diretamente a questão de pesquisa sobre quais arranjos se mostram mais adequados a realidade regional.

A pesquisa evidencia que a solução energética amazônica e, antes de tudo, sociotécnica: depende da integração entre robustez técnica, adequação logística, governança comunitária e políticas

públicas consistentes. Recomenda-se a priorização de mini-redes híbridas, a implementação de programas de capacitação local, o uso de tecnologias de monitoramento remoto e o aperfeiçoamento de políticas de subsídio vinculadas a manutenção adequada dos sistemas.

Reconhecem-se como limitações o caráter secundário e ilustrativo dos indicadores quantitativos, derivados da literatura e não de medição primária. Sugere-se, para estudos futuros, a coleta de dados de campo em sistemas isolados específicos, a mensuração direta de custos e disponibilidade e a investigação quantitativa da aceitação local, dimensão ainda pouco explorada e decisiva para a sustentabilidade dos projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília, DF: ANEEL, 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 12 abr. 2026.

_____. Sistemas isolados: informações gerenciais. Brasília, DF: ANEEL, 2023. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sistemas-isolados>. Acesso em: 20 abr. 2026.

BANDEIRA, J. V.; OLIVEIRA, R. G. Desafios logísticos em regiões remotas da Amazônia. Revista Transporte e Desenvolvimento, Manaus, v. 8, n. 1, p. 77-94, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br>. Acesso em: 25 abr. 2026.

BLANCO, G. et al. Hybrid mini-grids for isolated communities in the Brazilian Amazon: performance and lessons learned. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Amsterdam, v. 160, p. 112-131, 2022.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 05 maio 2026.

CARTAXO, E. F.; FREITAS, M. A. V.; SILVA, C. R. Sustentabilidade de sistemas de geração em comunidades isoladas da Amazônia. Revista Brasileira de Energia, Itajuba, v. 27, n. 3, p. 55-78, 2021. Disponível em: <https://sbpe.org.br>. Acesso em: 10 maio 2026.

CENTRO DE PESQUISA E APOIO AOS POVOS INDIGENAS (CPI/AC). Amazônia ribeirinha: modos de vida, economia e territorialidade. Rio Branco: CPI, 2018. Disponível em: <https://cpiacre.org.br>. Acesso em: 18 maio 2026.

COELHO, S. T.; MONTEIRO, M. A. Energia e desenvolvimento sustentável na Amazônia. São Paulo: USP, 2016. Disponível em: <https://www.iee.usp.br>. Acesso em: 25 maio 2026.

COSTA, R. F. Sistemas isolados na Amazônia: desafios de infraestrutura e logística. Manaus: EDUA, 2017. Disponível em: <https://edua.ufam.edu.br>. Acesso em: 02 jun. 2026.

ELETROBRAS. Relatório de operação dos sistemas isolados. Brasília, DF: Eletrobrás, 2018. Disponível em: <https://www.eletrobras.com>. Acesso em: 09 jun. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA (EPE). Sistemas isolados: diagnostico e perspectivas. Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 16 jun. 2026.

_____. Plano decenal de energia: PDE 2031. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2026.

_____. Energia na Amazônia: diagnóstico dos sistemas isolados. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 30 jun. 2026.

FREITAS, M. A. V.; SILVA, C. R. Geração de energia em sistemas isolados da Amazônia. Revista Brasileira de Energia, Itajuba, v. 26, n. 3, p. 118-135, 2020. Disponível em: <https://sbpe.org.br>. Acesso em: 14 jul. 2026.

FUNDACAO AMAZONIA SUSTENTAVEL (FAS). Diagnostico socioeconômico de comunidades ribeirinhas do Amazonas. Manaus: FAS, 2021. Disponível em: <https://fas-amazonia.org>. Acesso em: 18 jul. 2026.

GOMEZ, L. F.; ROCHA, S. D. Modularidade e escalabilidade de mini-redes na Amazônia: uma análise comparativa. Revista Tecnologia & Sociedade, Curitiba, v. 19, n. 48, p. 90-115, 2023. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br>. Acesso em: 22 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). Síntese de indicadores sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 26 jul. 2026.

_____. Amazônia Legal: aspectos socioeconômicos. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 jul. 2026.

_____. Censo Demográfico 2022: características gerais da população e dos domicílios. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 03 ago. 2026.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Infraestrutura e desenvolvimento regional na Amazônia. Brasília, DF: IPEA, 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br>. Acesso em: 07 ago. 2026.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Energy access and mini-grids outlook. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org>. Acesso em: 12 ago. 2026.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Renewable mini-grids: innovation landscape and deployment. Abu Dhabi: IRENA, 2023. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 18 ago. 2026.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Programa Mais Luz para a Amazônia: diretrizes técnicas. Brasília, DF: MME, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme>. Acesso em: 22 ago. 2026.

_____. Balanço energético nacional: BEN 2022. Brasília, DF: MME, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme>. Acesso em: 26 ago. 2026.

MONTEIRO, M. A.; COELHO, M. C. N. Territórios ribeirinhos e suas dinâmicas socioeconômicas. Revista Amazônia Viva, Belém, v. 5, n. 2, p. 41-58, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br>. Acesso em: 30 ago. 2026.

NASCIMENTO, A. P. Aspectos socioeconômicos das comunidades amazônicas e sua relação com o acesso a energia. Revista Brasileira de Energia, Itajuba, v. 27, n. 2, p. 45-63, 2021. Disponível em: <https://sbpe.org.br>. Acesso em: 03 set. 2026.

NASCIMENTO, J. P.; LIMA, J. C. S. Barreiras logísticas e acesso a infraestrutura em comunidades isoladas da região Norte. Cadernos de Logística, v. 14, n. 1, p. 34-52, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 07 set. 2026.

OLIVEIRA, L. C.; FERREIRA, P. R. Infraestrutura energética na Amazônia: desafios e lacunas. Revista Estudos Amazônicos, Manaus, v. 10, n. 1, p. 112-130, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br>. Acesso em: 10 set. 2026.

PEREIRA, R. M.; NASCIMENTO, A. P.; LIMA, J. C. S. Transição energética em sistemas isolados: uma avaliação do programa Mais Luz para a Amazônia. Revista Estudos Amazônicos, Manaus, v. 12, n. 2, p. 80-104, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br>. Acesso em: 14 set. 2026.

SANTANA, J. L.; LIMA, V. R. Energia elétrica como vetor de desenvolvimento em regiões remotas. Belém: UFPA Press, 2019. Disponível em: <https://www.editora.ufpa.br>. Acesso em: 17 set. 2026.

SANTOS, D. L.; SOUZA, A. C. Desigualdade energética na Amazônia brasileira. Revista Desenvolvimento Regional, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 3, p. 98-121, 2018. Disponível em: <https://online.unisc.br>. Acesso em: 20 set. 2026.

SCHMID, A. L.; MONTEIRO, M. A. Abordagens sociotécnica para a eletrificação rural na Amazônia. Revista Tecnologia & Sociedade, Curitiba, v. 17, n. 45, p. 60-85, 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br>. Acesso em: 23 set. 2026.

SILVA, A. S.; PEREIRA, A. M. Energia e desenvolvimento sustentável em comunidades amazônicas. Revista Tecnologia & Sociedade,

Curitiba, v. 16, n. 40, p. 120-139, 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br>. Acesso em: 26 set. 2026.

SILVA, R. A.; BARBOSA, M. A. Impactos sociais da eletrificação rural na Amazônia. Revista Brasileira de Políticas Públicas Brasília, v. 14, n. 2, p. 77-94, 2020. Disponível em: <https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br>. Acesso em: 28 set. 2026.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS (UFAM). Relatório técnico: desafios logísticos na implementação de sistemas energéticos em comunidades ribeirinhas. Manaus: UFAM, 2021. Disponível em: <https://edua.ufam.edu.br>. Acesso em: 30 set. 2026.

¹ Discente do Curso Superior de Engenharia Elétrica da Fundação Centro de Pesquisa e Inovação Tecnológica – FUCAPI, Manaus, AM.

² Docente do Curso Superior de Engenharia Elétrica da Fundação Centro de Pesquisa e Inovação Tecnológica – FUCAPI, Manaus, AM.

Doutora em Química (PPGQ/UFAM). E-mail:
siomararocha.quimica@gmail.