



Avaliação dos impactos socioeconômicos e fortalecimento de comunidades locais

MODELOS PARA INTEGRAÇÃO EFICIENTE DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Preparado para
INSTITUTO CLIMA E SOCIEDADE

JUNHO 2026



Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos específicos do relatório	2
2	Energia como vetor de desenvolvimento socioeconômico	4
2.1	Vulnerabilidade e pobreza energética.....	6
2.2	Comunidades energéticas e a aplicação de SAE.....	14
3	SAE como vetor de desenvolvimento socioeconômico	17
3.1	Desenvolvimento econômico local e geração de renda.....	20
3.2	Qualidade de vida e acesso a serviços essenciais	24
3.3	Capacitação técnica e geração de empregos.....	27
3.4	Empoderamento comunitário e governança energética	30
4	Potenciais pontos de atenção.....	34
4.1	Riscos à saúde e ao meio ambiente	34
4.2	Vulnerabilidades laborais e sociais na cadeia produtiva	36
5	Desenvolvimento da cadeia produtiva nacional.....	41
5.1	Vulnerabilidade da cadeia produtiva global	41
5.2	Posição do Brasil na cadeia global.....	43
6	Recomendações gerais.....	48
6.1	Bloco I – Direcionamentos Concretos.....	48
6.1.1	Aprimoramentos ao Luz para Todos.....	48
6.1.2	Marco regulatório para Comunidades Energéticas.....	50
6.1.3	Aprimoramentos aos mecanismos de financiamento.....	51
6.1.4	Aprimoramentos para a cadeia produtiva nacional.....	52
6.1.5	Aprimoramentos aos Leilões de Sistemas Isolados.....	54
6.2	Bloco II – Recomendações Transversais.....	55
6.2.1	Territorialização das políticas.....	55
6.2.2	Práticas de economia circular.....	56
6.2.3	Monitoramento dos impactos.....	57
6.2.4	Institucionalização da metodologia SROI (<i>Social Return on Investment</i>)	59
7	Recomendações de iniciativas de capacitação e inclusão	61
8	Conclusão	1
9	Referências.....	3

1 INTRODUÇÃO

A transição energética não pode ser avaliada sem considerar o conceito de *justiça energética*. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) adota como definição de justiça energética a proposta feita por Sovacool e Dworkin, 2015[1]:

“Abrange todo o processo de geração, transmissão, distribuição e consumo de energia. Seu objetivo é compreender onde ocorrem as injustiças, quais grupos sociais são afetados e como evitar ou remediar essas situações.”

Assim, para que a transição energética seja legítima e duradoura, ela deve ser justa. Isto é, corrigir desigualdades históricas de acesso à energia e gerar oportunidades concretas de desenvolvimento local e fortalecimento comunitário. Uma transição que descarboniza a matriz sem distribuir seus benefícios corre o risco de reproduzir, sob nova roupagem tecnológica, as mesmas assimetrias que sempre marcaram o setor energético brasileiro. Nesse sentido, o fortalecimento socioeconômico das comunidades não é um objetivo secundário da transição energética, mas sim uma condição para que ela se realize de forma plena e sustentável.

Os Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs), e em especial as baterias, ocupam um lugar estratégico nesse processo. Mais do que ativos técnicos de suporte à rede, os SAE têm potencial de ampliar o acesso à energia em regiões remotas e periféricas, melhorar a qualidade e confiabilidade de suprimento, viabilizar atividades produtivas locais e fortalecer a autonomia energética de povos e comunidades tradicionais. Quando adequadamente inseridos em políticas públicas sensíveis às realidades territoriais, os SAE tornam-se instrumentos concretos de inclusão social e desenvolvimento econômico local.

Assim, para além da crescente necessidade por flexibilidade sistêmica e serviços ancilares no Setor Elétrico Brasileiro (SEB), o relatório de [Contexto e Desafios do SEB do Presente e do Futuro](#) diagnostica a necessidade de visão holística diante do potencial de atuação das baterias. Um dos eixos destacados como essenciais na realização dessa análise diz respeito a inclusão social, reforçando a importância de considerar não apenas o mercado de energia, mas também o contexto da sociedade em que essa tecnologia se insere.

A relevância dessa esfera é reforçada, ainda, pela experiência internacional. Em contextos marcados por desigualdade no acesso à energia, elevada vulnerabilidade climática ou limitações de infraestrutura, outros países vêm mobilizando SAEs como parte de instrumentos de políticas públicas. Nessas iniciativas, como identificado no relatório de [Experiências Internacionais](#), as baterias são integradas a programas governamentais voltados à segurança do suprimento local, redução de custos sistêmicos e ampliação da proteção de comunidades.

No Brasil, o tema das baterias têm sido foco de discussões regulatórias recentes, indicando que o país se encontra em um momento decisivo para consolidar diretrizes e critérios que orientem sua adoção, como apontado no relatório de [Barreiras e Oportunidades](#). Adicionalmente, esse debate deve considerar, ainda, as melhores práticas que orientam o papel do armazenamento na operação do sistema, consolidadas no relatório de [Formulação de Modelos Operacionais para Integração dos Sistemas de Armazenamento](#).

Diante do contexto apresentado, cabe ressaltar a necessidade de análise referente a dimensão humana e territorial dos SAE, considerando os impactos socioeconômicos do armazenamento de energia em regiões específicas do Brasil, bem como a proposição de iniciativas concretas de capacitação, inclusão e fortalecimento das cadeias produtivas locais. A partir disso, e considerando a consolidação dos aprendizados obtidos em atividades predecessoras do projeto, surge o presente relatório.

1.1 Objetivos específicos do relatório

Esse relatório tem como objetivo analisar o papel dos SAEs para além de um ativo de infraestrutura do sistema elétrico, mas como instrumento estratégico na promoção de uma transição energética justa, que contribua com a correção de desigualdades históricas e a distribuição de seus benefícios de forma equitativa. Essa análise é sustentada por uma revisão de literatura, levantamento de políticas públicas e programas existentes, e por entrevistas qualitativas realizadas com atores-chave do setor, incluindo instituições do poder público, empresas do setor elétrico, organismos de financiamento e organizações da sociedade civil com atuação direta em comunidades que podem se beneficiar da implementação de baterias.

Para além da avaliação qualitativa dos benefícios dos SAE para a segurança energética e o desenvolvimento socioeconômico regional, o relatório também tem como meta a proposição de iniciativas orientadas à capacitação e inclusão de comunidades locais e ao fomento da cadeia produtiva de valor e das oportunidades de trabalho associadas a essa tecnologia.

Para cumprir esse objetivo, o relatório está estruturado em 8 capítulos, detalhados a seguir:

- **Capítulo 2:** Apresenta o desenvolvimento conceitual da energia como vetor de desenvolvimento socioeconômico, entrando em detalhes nos conceitos de *vulnerabilidade* e *pobreza energética* e *comunidades energéticas*. Nessa seção, também é realizado um diagnóstico geral das políticas públicas e iniciativas voltadas ao enfrentamento desses temas.
- **Capítulo 3:** Examina o SAE como vetor de desenvolvimento socioeconômico, considerando as principais dimensões de benefícios proporcionados pela tecnologia. Essa análise aprofunda e detalha os resultados apresentados no [diagnóstico inicial](#), incorporando evidências adicionais obtidas por meio das entrevistas e da revisão de literatura realizada para este relatório. Adicionalmente, a seção também analisa casos em que os impactos elencados foram observados na prática, permitindo identificar fatores habilitadores, desafios e oportunidades associadas à implementação dessa tecnologia.
- **Capítulo 4:** Trata dos principais pontos de atenção quanto a expansão da implementação das baterias, em especial no que tange riscos à saúde e ao meio ambiente e vulnerabilidades laborais e sociais na cadeia produtiva.
- **Capítulo 5:** Comenta o desenvolvimento da cadeia produtiva nacional, considerando vulnerabilidades atuais da cadeia global, como o Brasil se encontra posicionado nesta temática, e quais são possíveis caminhos para o desenvolvimento dessa cadeia, considerando seus prós e contras.

- **Capítulo 6:** Com base nos diagnósticos propostos pelas seções anteriores, o capítulo apresenta recomendações estruturadas em dois blocos principais: (i) direcionamentos concretos, voltados para políticas públicas, programas ou entidades específicas; e (ii) recomendações transversais, atreladas a diretrizes norteadoras, que são importantes para o direcionamento geral de medidas que busquem impulsionar a exploração de SAE voltado para desenvolvimento socioeconômico.
- **Capítulo 7:** Apresenta uma proposição de iniciativas voltadas à capacitação e à inclusão de comunidades locais no contexto da expansão dos SAE. As propostas são elaboradas a partir das demandas, desafios e recomendações identificados ao longo dos eixos anteriores. O objetivo é indicar caminhos possíveis para o fortalecimento de comunidades locais, o estímulo à participação de comunidades na cadeia de valor associada aos sistemas de armazenamento e a ampliação das oportunidades de geração de renda e desenvolvimento territorial vinculadas à difusão dessa tecnologia.
- **Capítulo 8:** Conclui os principais achados do relatório.

2 ENERGIA COMO VETOR DE DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO

A energia é amplamente reconhecida como elemento fundamental para o desenvolvimento socioeconômico. Mais do que um insumo técnico ou um serviço de infraestrutura, serviços de energia modernos, confiáveis e acessíveis constitui pré-condição para direitos fundamentais, como saúde, educação e trabalho, e para superação de ciclo de pobreza. Energia se mostra essencial, especialmente, para o funcionamento da economia, impulsionando o desenvolvimento de atividades produtivas, a geração de renda, e a conectividade.

A energia, portanto, não é fim em si mesma, mas um vetor transversal em múltiplas dimensões do desenvolvimento.

A estreita relação entre acesso à energia e indicadores de progresso econômico social é corroborada pela associação de disponibilidade de energia confiável à expansão da produtividade econômica, à diversificação das atividades produtivas e à melhoria nas condições de vida da população. O acesso à eletricidade, por exemplo, possibilita a mecanização de processos produtivos, o aumento da eficiência em cadeias produtivas locais e o surgimento de novas oportunidades de empreendedorismo, especialmente em regiões historicamente marcadas por restrições de infraestrutura. Nesse contexto, a energia desempenha um papel habilitador, criando condições para que outros processos de desenvolvimento possam ocorrer.

Esse reconhecimento consta da agenda global de desenvolvimento sustentável. O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 7 (ODS 7) [2], estabelecido pelas Nações Unidas (ONU) no âmbito da Agenda 2030, tem como meta central assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia até 2030. A inclusão desse objetivo reflete o reconhecimento do papel da energia no desenvolvimento sustentável, influenciando diretamente outros objetivos relacionados à redução da pobreza, à segurança alimentar, à saúde, à educação e à promoção de oportunidades econômicas.

As metas do ODS 7 estruturam-se em torno de 3 principais eixos:



- Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia;
- Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global; e
- Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.

Adicionalmente, a ONU define duas metas habilitadoras no escopo do ODS 7, ligados ao reforço da cooperação internacional e a expansão de infraestrutura. A primeira busca facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, promovendo investimento em infraestrutura de energia. A segunda promove a modernização da tecnologia para o fornecimento de energia mais moderno e sustentável, particularmente em países menos desenvolvidos.

Em escala global, em 2023, o crescimento do número de pessoas com acesso à eletricidade superou o aumento populacional, elevando a taxa mundial para 92% e reduzindo para 666

milhões o contingente ainda sem esse serviço. Observa-se um avanço expressivo desde 2015, quando os ODS foram estabelecidos, período em que a população mundial sem eletricidade era de 958 milhões de pessoas.

De acordo com o monitoramento dos indicadores associados ao ODS 7, destaca-se ainda o papel das soluções de mini-redes e sistemas solares autônomos, que continuam sendo fundamentais para expandir o acesso à eletricidade. Isso se dá, em especial, devido à sua facilidade de implantação e à capacidade de atender, de forma econômica, demandas menores e mais dispersas [3]. Nesse contexto, destaca-se o potencial das baterias para contribuir com essas soluções, promovendo maior estabilidade e qualidade ao fornecimento de energia.

No Brasil, o acompanhamento dos indicadores do ODS 7, conforme sistematizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) [4], indica que o país apresenta desempenho relativamente avançado no que se refere ao acesso à eletricidade, com níveis próximos à universalização, sobretudo em áreas urbanas. Ainda assim, persistem desafios relevantes em regiões remotas e isoladas, onde limitações geográficas e socioeconômicas dificultam a expansão de soluções convencionais de infraestrutura elétrica.

Em relação à participação de fontes renováveis, o Brasil mantém posição de destaque no cenário internacional, com uma matriz elétrica altamente renovável, baseada principalmente na fonte hidrelétrica, e com crescente inserção de fontes renováveis variáveis como eólica e solar. Por outro lado, o avanço em eficiência energética ocorre de forma mais gradual, refletindo a necessidade de políticas mais estruturadas e integradas nesse campo.

Esse desempenho relativamente positivo decorre tanto de características estruturais e históricas do setor elétrico brasileiro, quanto da implementação de políticas públicas e programas voltados à ampliação do acesso e à promoção de fontes renováveis, reforçando a centralidade do tema na agenda nacional de desenvolvimento. Ainda assim, persistem desafios que demandam aprimoramentos, especialmente no que se refere à eficiência energética e à redução de desigualdades no acesso e na qualidade dos serviços.

Nos últimos anos, a transição para sistemas energéticos de baixo carbono tem ampliado ainda mais a relevância desse debate. A transformação das matrizes energéticas globais, impulsionada pela necessidade de enfrentar as mudanças climáticas, abre novas oportunidades para a expansão do acesso à energia e para o desenvolvimento de modelos mais descentralizados e inclusivos de geração e gestão de recursos energéticos. No entanto, também levanta desafios relacionados à distribuição equitativa¹ dos custos e benefícios dessa transição.

Nesse contexto, a literatura sobre transição energética justa enfatiza a importância de garantir que os processos de transformação do setor energético contribuam para reduzir desigualdades, ampliar oportunidades econômicas e fortalecer a participação de diferentes grupos sociais na governança dos sistemas energéticos.

¹ Entende-se por equidade a distribuição justa (e não necessariamente igual) dos custos, benefícios e oportunidades, levando em conta as diferentes realidades sociais e econômicas dos grupos envolvidos.

Assim, compreender a energia como vetor de desenvolvimento socioeconômico implica reconhecer seu papel estratégico não apenas na sustentação das atividades econômicas, mas também na promoção de inclusão social, no fortalecimento de capacidades locais e na redução de desigualdades territoriais. Esse entendimento constitui um ponto de partida essencial para a análise das políticas e instrumentos voltados ao enfrentamento da pobreza energética.

2.1 Vulnerabilidade e pobreza energética

Além da dimensão econômica, a energia também possui implicações sociais e territoriais relevantes. A ausência ou precariedade do acesso a serviços energéticos adequados tende a reforçar desigualdades estruturais, limitando as oportunidades de desenvolvimento em regiões periféricas ou em situação de fragilidade socioeconômica. A insuficiência de infraestrutura energética pode restringir a oferta de serviços públicos essenciais, dificultar a implementação de políticas sociais e reduzir a atratividade econômica de determinados territórios. Dessa forma, o acesso desigual à energia contribui para a reprodução de assimetrias regionais e sociais, configurando-se como um dos elementos centrais do debate sobre justiça energética e transição energética justa.

Nesse contexto, dois conceitos se mostram centrais para a análise das condições de acesso à energia e para o desenho de políticas públicas eficazes: a vulnerabilidade e a pobreza energética. Esses conceitos estão relacionados, embora não sejam equivalentes. Tratam de fenômenos complexos e multidimensionais cujas definições podem variar em função do contexto socioeconômico, climático e normativo de cada país ou região.

De maneira geral, entende-se a pobreza energética como uma condição observada e estática, que reflete a atual situação de indivíduos ou comunidades. Caracteriza populações que não conseguem acessar energia adequada, não conseguem pagar por serviços energéticos essenciais, ou consomem energia em níveis insuficientes para o bem-estar básico. Trata-se, portanto, de uma privação concreta e presente.

A vulnerabilidade energética, por sua vez, refere-se a um processo dinâmico que indica o risco de entrar em situação de pobreza energética, a exposição a choques externos (como variações de preço, eventos climáticos ou falhas no sistema de fornecimento), e a baixa capacidade de adaptação a essas situações. Uma comunidade ou pessoa pode não estar em pobreza energética no momento presente, mas ser altamente vulnerável a ela diante de possíveis perturbações de caráter econômico, climático ou institucional.

Essa distinção é importante para o desenho de políticas públicas. Enquanto o combate à pobreza energética exige intervenções que retirem essa população de uma condição já instalada de privação, o enfrentamento da vulnerabilidade energética demanda ações preventivas, que reduzam a exposição a riscos e ampliem a capacidade de resposta antes que a privação se instale. Políticas públicas eficazes precisam, portanto, olhar para ambas as dimensões.

É nesse sentido que os SAE se mostram instrumentos estratégicos para o enfrentamento de ambas as dimensões. Para comunidades já em situação de pobreza energética, os SAE podem ampliar o acesso, melhorar a qualidade e a continuidade do fornecimento e viabilizar atividades produtivas que dependem de energia estável. Para comunidades em situação de vulnerabilidade,

os SAE contribuem para reduzir a exposição a choques e para ampliar a resiliência dos sistemas energéticos locais, prevenindo que essas comunidades venham a experimentar situações de privação.

Essa diversidade de manifestações reforça que soluções tecnológicas como os SAE devem ser analisadas não apenas como instrumentos técnicos, mas como mecanismos capazes de atuar sobre diferentes dimensões da pobreza e da vulnerabilidade energética, incluindo qualidade, confiabilidade e adequação do serviço – aspectos que afetam especialmente comunidades vulneráveis – e acesso e capacidade de pagamento – aspectos centrais no combate à pobreza energética.

A mensuração da pobreza energética é um desafio analítico relevante, justamente em função de sua natureza multidimensional. Diferentes países utilizam diferentes metodologias para capturar aspectos específicos do fenômeno, refletindo distintas prioridades de política pública.

Indicadores baseados em gastos, por exemplo, são úteis para identificar situações de pressão financeira sobre domicílios. No entanto, sua aplicação isolada tende a subestimar contextos em que o consumo energético já é restrito, situação comum em países em desenvolvimento. Por outro lado, abordagens multidimensionais buscam capturar de forma mais abrangente as condições de acesso, qualidade do serviço, características das habitações e impactos sobre a saúde.

Essa perspectiva é particularmente relevante em contextos como o brasileiro, onde a pobreza energética se manifesta de forma heterogênea, combinando desafios de acesso em áreas remotas ou com controles paralelos e problemas de qualidade e custo em áreas urbanas.

No Brasil, a construção de um arcabouço conceitual robusto sobre pobreza energética é relativamente recente. Apesar do histórico consolidado de políticas de universalização do acesso (detalhadas mais à frente no relatório), apenas em 2024 surge uma definição oficial associada a indicadores capazes de monitorar esse fenômeno de forma consistente e abrangente.

A institucionalização recente do conceito no âmbito da Política Nacional de Transição Energética [5] representa um avanço relevante, ao reconhecer formalmente a pobreza energética como um problema estruturante e ao associá-la à agenda de transição energética justa. Essa incorporação sinaliza uma mudança de enfoque, de uma visão centrada exclusivamente na expansão da infraestrutura para uma abordagem que considera a energia como elemento de inclusão social e desenvolvimento.

No entanto, a própria necessidade de definição recente evidencia que o tema ainda carece de consolidação institucional e de instrumentos plenamente integrados de monitoramento e avaliação [6]. Em um país marcado por forte heterogeneidade regional, a pobreza energética assume formas distintas – desde a ausência de acesso em comunidades isoladas até o comprometimento excessivo da renda com tarifas elevadas.

Essa diversidade reforça a importância de soluções adaptadas às especificidades locais, bem como o papel de tecnologias descentralizadas e modulares, capazes de atender demandas dispersas e promover maior autonomia energética em comunidades vulneráveis.

A criação de instrumentos de monitoramento mais robustos representa um passo importante para a qualificação das políticas públicas voltadas ao tema. Nesse contexto, iniciativas como o Observatório Brasileiro de Erradicação da Pobreza Energética (OBEPE) [7] contribuem para superar a fragmentação de dados e permitem uma análise mais integrada do fenômeno.

A metodologia adotada organiza os indicadores em quatro grandes grupos, refletindo a natureza multidimensional da pobreza energética e permitindo uma leitura integrada de suas diferentes manifestações [8].

O primeiro grupo corresponde aos **Indicadores de Pobreza Energética**, definidos no nível domiciliar e, em geral, estruturados como variáveis binárias, que indicam se determinado domicílio se encontra ou não em situação de privação energética. Esses indicadores sintetizam dimensões centrais como acesso a serviços energéticos, uso de fontes adequadas para cocção e comprometimento da renda com energia. Esses indicadores cumprem papel central ao permitir a identificação direta do público-alvo de políticas públicas.

O segundo grupo abrange os **Determinantes Socioeconômicos**, compostos por variáveis categóricas também definidas no nível domiciliar, que caracterizam o perfil das famílias em situação de pobreza energética. Incluem informações como renda, composição familiar, escolaridade, gênero do responsável pelo domicílio, localização geográfica e condições habitacionais. Esses determinantes funcionam como filtros analíticos, permitindo compreender quais grupos populacionais são mais vulneráveis e como a pobreza energética se distribui no território. Assim, contribuem diretamente para o desenho de políticas mais focalizadas e eficazes.

O terceiro grupo reúne as **Estatísticas Adicionais**, compostas por variáveis numéricas que expressam condições objetivas dos domicílios, como renda média mensal, consumo de eletricidade e outras informações declaradas. Essas métricas permitem qualificar a análise ao fornecer uma base quantitativa contínua, possibilitando, por exemplo, avaliar a intensidade da privação energética ou identificar padrões de consumo associados a diferentes perfis socioeconômicos.

Por fim, os **Indicadores de Vulnerabilidade** incorporam variáveis externas ao domicílio, definidas em diferentes escalas geográficas (como municípios, estados ou regiões), que influenciam a incidência e a intensidade da pobreza energética. Incluem fatores como condições climáticas, desenvolvimento socioeconômico local e características da infraestrutura disponível. Esses indicadores são particularmente relevantes para capturar dimensões territoriais do problema, evidenciando como fatores estruturais condicionam as condições de acesso e uso da energia.

A construção dessas métricas, bem como a integração das diferentes bases de dados, foi realizada com apoio de ferramentas analíticas, permitindo a consolidação de uma base unificada e consistente. Mais do que um exercício estatístico, essa arquitetura metodológica representa um avanço relevante ao possibilitar uma leitura sistêmica da pobreza energética no Brasil.

A consolidação desse arcabouço conceitual e metodológico permite não apenas dimensionar a pobreza energética no país, mas também qualificar a análise das respostas institucionais a esse

desafio. Ao evidenciar a diversidade de suas manifestações, esse diagnóstico reforça a necessidade de políticas públicas integradas e adaptadas às especificidades territoriais e sociais do Brasil.

Frente a esse cenário, o Estado brasileiro construiu, ao longo das últimas décadas, um conjunto de políticas e programas voltados à universalização do acesso à energia de forma justa e sustentável. Os principais instrumentos para o enfrentamento da pobreza energética, possuem diferentes graus de sucesso em seus resultados, conforme analisado a seguir.

Programa Luz para Todos (LpT) e Mais Luz para Amazônia (MLA)

No âmbito das políticas públicas voltadas à universalização do acesso à energia elétrica no Brasil, destaca-se o Programa Luz para Todos (LpT), instituído em 2003 como uma das principais iniciativas federais para promoção da inclusão energética em áreas rurais e regiões isoladas. O programa foi criado em um contexto no qual parcela significativa da população brasileira ainda vivia sem acesso à eletricidade, o que representava um obstáculo relevante ao desenvolvimento socioeconômico e à redução das desigualdades regionais.

O objetivo central do programa é a promoção da universalização do acesso à energia elétrica, com foco em populações de baixa renda, agricultores familiares, comunidades tradicionais e localidades remotas não atendidas pelas redes convencionais de distribuição. A iniciativa partiu do reconhecimento de que o acesso à eletricidade constitui um elemento estruturante para a melhoria das condições de vida, viabilizando o acesso a serviços básicos, o desenvolvimento de atividades produtivas e a ampliação de oportunidades sociais e econômicas.

Do ponto de vista operacional, o programa foi estruturado a partir de uma articulação entre o governo federal e distribuidoras de energia elétrica. As distribuidoras ficam responsáveis pela execução das obras de extensão de redes e conexão dos domicílios, enquanto o governo federal atua no planejamento e coordenação das iniciativas.

A implementação do programa ocorreu, predominantemente, por meio da expansão da rede elétrica convencional, com extensão de linhas de distribuição até localidades anteriormente não atendidas. No entanto, em regiões de difícil acesso, especialmente na Amazônia Legal, também foram incorporadas soluções descentralizadas, como sistemas individuais de geração fotovoltaica associados a baterias. A adoção dessa configuração se dá de forma sistemática, diante dos desafios logísticos, das restrições ambientais e da baixa densidade populacional que tornam a extensão da rede tecnicamente difícil e economicamente inviável em diversas localidades.

Em resposta às limitações dessa região, o governo federal instituiu, em 2020, o Programa Mais Luz para a Amazônia (MLA). Diferentemente do LpT, que originalmente priorizava a extensão da rede elétrica conectada ao SIN, o MLA nasceu com foco específico em sistemas totalmente isolados, voltados às comunidades ribeirinhas, indígenas e de reservas extrativistas da região amazônica. Desde sua concepção, o programa adotou as energias renováveis (particularmente a geração solar fotovoltaica) e os sistemas de armazenamento de energia em bateria como

elementos centrais para garantir confiabilidade no fornecimento e reduzir a dependência de geradores a diesel.

Em 2023, com a atualização do LpT pelo Decreto nº 11.628/2023, as prioridades inauguradas pelo MLA foram incorporadas ao programa. A nova etapa do LpT passou a incluir explicitamente as regiões remotas da Amazônia Legal, com foco em fontes renováveis, continuidade do serviço e uso sustentável.

Em 2026, o Programa Luz para Todos foi atualizado pelo Decreto nº 12.964, que trouxe alterações relevantes para o programa. Dentre elas, cabe destacar a definição de atendimento de infraestrutura destinada ao uso produtivo da energia em meio rural e na Amazônia Legal. Esses atendimentos devem, ainda, considerar as especificidades territoriais, sociais, culturais, ambientais e logísticas da comunidade em que se inserem.

Em termos de resultados, o Luz para Todos é amplamente reconhecido como uma das políticas públicas de maior impacto na área energética no Brasil. Desde sua criação, o programa viabilizou o acesso à eletricidade para mais de 17 milhões de pessoas, contribuindo significativamente para a redução da exclusão energética no país e para a melhoria de indicadores sociais em regiões historicamente vulneráveis. Seus efeitos vão além da simples conexão à rede elétrica, estando associados, à melhoria das condições de educação e saúde e ao fortalecimento de atividades produtivas locais.

Apesar dos avanços expressivos, o programa ainda enfrenta desafios relevantes. A universalização plena do acesso permanece incompleta, especialmente em áreas onde os custos de expansão da rede são elevados e as soluções convencionais nem sempre se mostram viáveis. Além disso, questões relacionadas à qualidade e à continuidade do fornecimento, bem como à sustentabilidade econômica das soluções adotadas, têm ganhado maior relevância no debate recente.

Nesse contexto, o Luz para Todos permanece como um marco na política energética brasileira, ao evidenciar o papel do Estado na promoção da inclusão energética.

Programa de Energia Renovável Social (PERS)

No contexto das políticas públicas voltadas à ampliação do acesso à energia e à promoção de fontes renováveis no Brasil, cabe destacar o Programa de Energia Renovável Social (PERS), instituído pela Lei 14.300/2022 [9].

O PERS foi concebido como um instrumento de inclusão energética, com o objetivo de viabilizar o acesso de população de baixa renda aos benefícios da micro e mini geração distribuída, especialmente por meio da energia solar fotovoltaica. De forma mais específica, o programa destina-se a promover investimentos na instalação de sistemas de geração renovável – tanto em modalidade local quanto remota compartilhada – voltados aos consumidores enquadrados na subclasse residencial baixa renda.

A criação do programa responde a uma limitação estrutural observada na difusão da micro e mini geração distribuída no Brasil. Embora essa modalidade tenha se expandido significativamente nos últimos anos, seus benefícios tendem a se concentrar em consumidores com maior capacidade de investimento inicial. Nesse sentido, o PERS busca democratizar o acesso a essas tecnologias, contribuindo para a redução das desigualdades no setor elétrico e para a diminuição dos custos de energia para famílias em situação de vulnerabilidade.

Do ponto de vista operacional, o programa prevê que os recursos destinados à sua implementação sejam oriundos, principalmente, do Programa de Eficiência Energética (PEE), além de outras fontes complementares e de parcelas de receitas das distribuidoras direcionadas à modicidade tarifária. Esses recursos são utilizados para financiar a implantação de sistemas de geração renovável, cujos benefícios (seja a energia gerada ou os créditos associados) podem ser compartilhados com unidades consumidoras de baixa renda, reduzindo suas despesas com eletricidade.

Apesar de seu potencial, o programa ainda enfrenta desafios relacionados à sua implementação efetiva. Embora represente um avanço relevante ao incorporar, no marco regulatório da micro e mini geração distribuída, uma dimensão explícita de justiça social e combate à pobreza energética, não há, até o momento, registros concretos de sua utilização, o que evidencia entraves operacionais e institucionais ainda a serem superados.

Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) e Programa Luz do Povo

A Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) constitui um dos principais instrumentos de proteção social no setor elétrico brasileiro, destinado a reduzir o ônus financeiro da conta de luz para famílias de baixa renda. Criada pela Lei nº 10.438/2002 e aprimorada ao longo dos anos, a TSEE concede descontos nas tarifas de energia elétrica a consumidores residenciais inscritos no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (CadÚnico)² ou que atendam critérios específicos de vulnerabilidade, como a presença de pessoas com deficiência, idosos ou pessoas com deficiência que recebam o Benefício de Prestação Continuada (BPC)³.

² O CadÚnico é um sistema de identificação e caracterização socioeconômica das famílias brasileiras de baixa renda. Gerido em escala nacional pelo Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (MDS), o cadastro reúne informações sobre composição familiar, de renda, condições de moradia e acesso a serviços públicos. A inscrição no CadÚnico é requisito para o acesso a diversos programas sociais, como o Bolsa Família e o Programa Gás do Povo, e serve como porta de entrada para benefícios voltados à população em situação de vulnerabilidade social.

³ O Benefício de Prestação Continuada (BPC) é um benefício assistencial previsto na Lei Orgânica da Assistência Social (Lei nº 8.742/1993) que garante o pagamento mensal de um salário-mínimo a idosos com 65 anos ou mais e a pessoas com deficiência de qualquer idade que comprovem não possuir meios de prover a própria manutenção nem de tê-la provida pela família. Para ter direito ao benefício, a renda per-capita familiar deve ser inferior a um quarto do salário-mínimo. O BPC é operacionalizado pelo Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) e não exige contribuição prévia à Previdência Social, diferenciando-se das aposentadorias por ser de natureza estritamente assistencial.

Em 2025, a TSEE passou por uma significativa transformação em seu desenho, cunhada pela Lei 15.235/2025 [10]. O modelo de descontos progressivos em voga até então foi substituído por um regime de isenção total para a parcela de consumo de até 80 kWh mensais. Para beneficiários da TSEE com consumo superior a esse limite, apenas a parcela excedente é cobrada. Essa alteração representa uma ruptura com o modelo original, que concedia descontos escalonados de 10% a 65%, e aproxima a TSEE de um modelo de direito universal a uma cota mínima de energia.

A nova lei também instituiu, a partir de 2026, o chamado Desconto Social, um benefício inédito voltado a famílias com renda per capita entre meio e um salário-mínimo, inscritas no CadÚnico, que até então não eram contempladas pela TSEE. Essas famílias passarão a ter isenção do pagamento de quotas anuais da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) para consumo de até 120 kWh mensais. A estimativa é que essa medida beneficie mais de 4 milhões de famílias.

Essas mudanças estão inseridas em um conjunto mais amplo de medidas nomeado pelo governo federal como Programa Luz do Povo, que articula a TSEE reformulada com outras políticas.

Do ponto de vista operacional, os custos da TSEE são cobertos pela CDE, um encargo setorial pago por todos os consumidores de energia elétrica do país. Esse mecanismo de financiamento cruzado distribui o custo da política entre os demais usuários do sistema. A implementação da TSEE é de responsabilidade das distribuidoras de energia, que identificam os consumidores beneficiários com base nas informações do CadÚnico e das bases de dados governamentais integradas.

Em termos de abrangência, a TSEE atinge dezenas de milhões de domicílios em todo o país, tornando-se um dos maiores programas de transferência indireta de renda do Brasil. Ao reduzir o comprometimento da renda familiar com gastos de energia, o programa contribui para liberar recursos para outras necessidades básicas, como alimentação, saúde e educação, atuando como mecanismo de combate à pobreza energética em sua dimensão econômica.

Apesar de seu alcance expressivo e dos avanços recentes, a TSEE ainda enfrenta desafios estruturais relevantes. O programa não resolve situações de pobreza energética decorrentes da ausência de acesso à rede elétrica, uma vez que seu benefício pressupõe a existência de conexão formal ao sistema de distribuição. Além disso, a eficácia do programa depende da atualização cadastral dos beneficiários e da sua correta identificação, o que pode gerar tanto a exclusão de famílias elegíveis quanto a inclusão indevida de consumidores que não se enquadram nos critérios.

Política Nacional de Transição Energética (PNTE)

A Política Nacional de Transição Energética (PNTE) é uma iniciativa estruturante do governo federal, aprovada pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) em agosto de 2024, cujo objetivo central é orientar a transformação sustentável do setor energético nacional de forma articulada com as agendas de desenvolvimento econômico, social, ambiental, industrial

e climática do país. A PNTE parte do reconhecimento de que o Brasil é uma liderança global em energias limpas, mas que essa posição precisa ser aprofundada para fazer frente à emergência climática e às transformações globais das cadeias de valor da economia verde.

A PNTE se organiza em torno de grandes desafios que o país precisa enfrentar simultaneamente no processo de transição: (i) a expansão da infraestrutura energética para atendimento da crescente demanda; (ii) a garantia de segurança e resiliência do sistema; (iii) a ampliação do acesso a serviços energéticos; (iv) a redução das desigualdades energéticas; (v) a descarbonização de setores de difícil abatimento; e (vi) o financiamento da transição energética e de inovação. Para enfrentar esses desafios de forma coerente, a PNTE propõe a articulação explícita entre a política energética e outras políticas públicas, incluindo a política econômica, industrial, ambiental, social e climática, e se alinha com instrumentos como o Novo PAC⁴, o Plano Clima⁵ e a Nova Indústria Brasil⁶.

Do ponto de vista institucional, a PNTE se estrutura em torno de dois instrumentos principais. O primeiro é o Fórum Nacional de Transição Energética (FONTE), um órgão permanente de caráter consultivo que reúne representantes governamentais, da sociedade civil e do setor produtivo. O FONTE é responsável por emitir recomendações anuais ao CNPE e subsidiar a elaboração do Plano Nacional de Transição Energética, buscando assegurar que o processo de transformação da matriz energética seja conduzido com participação social ampla e de forma democrática.

O segundo instrumento é o Plano Nacional de Transição Energética (PLANTE), um plano de ações de longo prazo, elaborado sob coordenação do MME com apoio da EPE e participação dos Ministérios. O PLANTE organiza suas ações em abordagem setorial, abrangendo as ações por setor econômico (indústria, transportes, petróleo e gás, e setores elétrico e mineral), e abordagem transversal, contemplando temas como arcabouço legal-regulatório, investimentos e financiamento, e dimensão social das ações.

⁴ O Novo PAC (Novo Programa de Aceleração do Crescimento) é um programa federal de investimentos em infraestrutura lançado em 2023 pelo governo federal, com previsão de investimentos de R\$ 1,3 trilhão até 2026. Os investimentos realizados têm compromisso com a transição ecológica, com o crescimento do país e a geração de emprego de forma sustentável, e considera nove eixos de atuação: transporte eficiente e sustentável; infraestrutura social inclusiva; cidades sustentáveis e resilientes; água para todos; inclusão digital e conectividade; transição e segurança energética; inovação para indústria da defesa; educação, ciência e tecnologia; e saúde.

⁵ O Plano Nacional sobre Mudança do Clima (conhecido como Plano Clima) estabelece metas, estratégias e ações para o enfrentamento das mudanças climáticas no Brasil, fundamentado na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). O plano é estruturado em três eixos complementares, sendo os dois centrais referentes a ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a adaptação aos impactos climáticos. O terceiro eixo trata de estratégias transversais para ação climática, com grupos de trabalho voltados a capacitação e transição justa, entre outros temas.

⁶ A Nova Indústria Brasil é a política industrial do governo federal, lançada em 2024, que busca promover a reindustrialização do país com foco em setores estratégicos e tecnologias de fronteira. A política prevê investimentos voltados ao adensamento das cadeias produtivas nacionais, à geração de empregos qualificados e ao fortalecimento da competitividade da indústria brasileira no cenário global. Uma das missões principais tem como foco ações voltadas para bioeconomia, descarbonização e transição e segurança energética.

Um aspecto de especial relevância no escopo do presente relatório é o tratamento que a PNTE confere à dimensão social da transição energética. A política afirma explicitamente o objetivo de promover uma transição energética justa e inclusiva, que combata a pobreza energética e garanta acesso universal a serviços energéticos de qualidade. A inclusão energética figura como um dos eixos transversais do PLANTE, ao lado dos demais temas, sinalizando que o combate às desigualdades energéticas é tratado como variável estruturante da política.

A PNTE também explicita uma dimensão de inserção geopolítica e econômica do Brasil na economia global de baixo carbono. Em um cenário marcado por disputa internacional por mercados da transição, a política busca posicionar o país como ator protagonista, capaz de atrair investimentos no adensamento das cadeias produtivas da transição e gerar empregos e renda associados às novas tecnologias energéticas.

Nesse sentido, a PNTE representa um avanço significativo na maturação do debate sobre política energética no Brasil, articulando diferentes dimensões em torno de uma visão integrada de transição. Ao mesmo tempo, seu potencial transformador depende da capacidade de converter suas diretrizes em ações concretas, com metas mensuráveis e mecanismos robustos de monitoramento.

2.2 Comunidades energéticas e a aplicação de SAE

As comunidades energéticas constituem arranjos coletivos por meio dos quais cidadãos e organizações locais se articulam para produzir, consumir, gerenciar e, possivelmente, comercializar energia de forma cooperativa, com controle local e distribuição dos benefícios. Mais do que uma modalidade técnica de geração ou gestão de energia, representam uma forma de democratização do sistema energético, colocando as comunidades como protagonistas da transição para uma matriz mais limpa e descentralizada.

Embora o conceito tenha sido formalizado mais recentemente, iniciativas para atender necessidades energéticas comunitárias existem desde a década de 1950, conforme registrado na literatura. O debate acerca do tema vem ganhando tração no mundo, impulsionado pela percepção da energia como bem comum, pela crescente busca por modelos de justiça, inclusão e governança democrática no setor energético.

Internacionalmente, diferentes correntes conceituais convergem ao identificar elementos nucleares das comunidades energéticas, sendo elas:

- Participação econômica e decisória dos cidadãos;
- Controle local sobre os projetos; e
- Distribuição dos benefícios gerados para os membros.

Ao mesmo tempo, o debate internacional alerta para os riscos da apropriação indevida do conceito. A adoção de definições genéricas pode permitir que projetos com baixa participação social e sem controle local se beneficiem de políticas públicas e incentivos voltados às comunidades energéticas. Esse risco de desvio dos objetivos socioeconômicos reforça a importância de critérios mínimos normativos que garantam participação efetiva, gestão coletiva e distribuição equitativa de benefícios.

Essa análise da literatura e das experiências internacionais, sistematizada pela EPE (2025), identifica ainda cinco dimensões centrais para a caracterização das comunidades energéticas:

- (i) **Propriedade e Governança:** define os modelos de tomada de decisão e a distribuição dos direitos de voto entre os membros. Pode variar de cooperativas com governança democrática (um voto por membro) a arranjos com participação acionária proporcional, sendo a representatividade local e a limitação da concentração de poder elementos-chave para a integridade comunitária do projeto.
- (ii) **Tecnologia e Escala:** abrange as tecnologias de geração utilizadas, as restrições de escala e a localização geográfica. As comunidades energéticas frequentemente combinam geração distribuída com sistemas de armazenamento, viabilizando o autoconsumo coletivo e a gestão ativa da demanda.
- (iii) **Financiamento e Incentivos:** engloba os mecanismos de capitalização e os incentivos regulatórios que tornam os projetos economicamente viáveis. A sustentabilidade financeira é condicionante central para a consolidação e replicabilidade das comunidades energéticas.
- (iv) **Arcabouço Legal e Regulatório:** refere-se à existência de definições legais específicas, às regras de licenciamento, ao acesso à rede elétrica e aos mecanismos de compensação pela energia injetada. A clareza normativa é relevante para a segurança jurídica dos projetos e para o engajamento de investidores e comunidades.
- (v) **Atividades e Elos da Cadeia Energética:** indica em quais segmentos do setor as comunidades energéticas atuam, e como se inserem na cadeia de valor mais ampla. A experiência internacional mostra que as comunidades energéticas podem se engajar em toda a cadeia, embora a geração renovável distribuída seja ainda sua aplicação mais frequente.

Considerando as dimensões a serem analisadas, cabe destacar, ainda, que não há uma abordagem única ou modelo padronizado para a implementação de comunidades energéticas. Tampouco é imprescindível a existência prévia de um arcabouço regulatório plenamente desenvolvido para sua viabilização. Ainda assim, configuram um instrumento relevante no enfrentamento da vulnerabilidade e pobreza energética, ao promoverem maior inclusão e acesso a serviços energéticos.

A incorporação das comunidades energéticas no desenho de políticas públicas representa um salto qualitativo na abordagem do desenvolvimento energético, ao articular dimensões técnicas, econômicas, sociais e territoriais que os instrumentos tradicionais, centrados na expansão centralizada da oferta, frequentemente negligenciam.

A governança energética enraizada no nível local amplia o engajamento e a apropriação das iniciativas pelas comunidades, aumentando a sustentabilidade dos projetos ao longo do tempo. A distribuição dos benefícios financeiros diretamente para os membros da comunidade produz impactos socioeconômicos mais equitativos.

No Brasil, a EPE reconhece o potencial das comunidades energéticas como vetor de uma transição energética mais justa e inclusiva. O Caderno “Comunidades Energéticas: Definições e

experiências internacionais”, publicado em dezembro de 2025, marca o início sistemático dos estudos da instituição sobre o tema, mapeando referências internacionais e lançando as bases para a construção de um arcabouço conceitual e regulatório adequado ao contexto brasileiro.

A publicação propõe recomendações para trabalhos futuros. Para que as comunidades energéticas possam efetivamente cumprir o papel de apoiar a construção de uma transição energética com enfoque local, é necessário avançar em três principais frentes:

- (i) O desenvolvimento de um marco legal específico, que defina critérios mínimos de participação, governança e distribuição de benefícios, e que garanta acesso não discriminatório à rede elétrica;
- (ii) A criação de mecanismos de financiamento acessíveis a comunidades de baixa renda, incluindo linhas de crédito subsidiadas, fundos reembolsáveis e parcerias com o setor público; e
- (iii) A integração das comunidades energéticas nas estratégias de universalização do acesso, de combate à pobreza energética e de descarbonização da Amazônia Legal, de modo a potencializar sinergias com programas existentes.

A relevância das comunidades energéticas para a agenda energética brasileira se torna ainda mais evidente quando consideradas em articulação com os SAEs. A integração de SAE em modelos comunitários de gestão energética não apenas amplia os benefícios técnicos do armazenamento, mas cria as condições para que esses benefícios se traduzam em desenvolvimento local, redução da pobreza energética e fortalecimento da autonomia e da resiliência das comunidades brasileiras.

A importância dos SAEs nesse contexto decorre, especialmente, da variabilidade da geração renovável, que cria descompassos entre os momentos de produção e os picos de demanda. Assim os SAEs habilitam uma série de benefícios que potencializam diretamente os objetivos socioeconômicos associados a aprimoramentos no fornecimento de energia.

A integração de SAE em comunidades energéticas, portanto, potencializa a capacidade de inserção dessas iniciativas na prestação de serviços ao sistema elétrico, aprimorando a qualidade do fornecimento e potencialmente abrindo novas fontes de receita que podem ser revertidas para o desenvolvimento local e para a sustentabilidade dos projetos comunitários.

3 SAE COMO VETOR DE DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO

O acesso à energia é condição necessária, apesar de não suficiente, para o desenvolvimento socioeconômico. A história da eletrificação brasileira é rica em exemplos que demonstram como a simples chegada da rede elétrica não garante, por si só, a melhoria das condições de vida das populações atendidas. A qualidade, a continuidade e a adequação do fornecimento às necessidades locais são variáveis igualmente determinantes para que a energia se converta em desenvolvimento.

É precisamente nessa dimensão que os SAE se revelam como ativos estratégicos: não apenas como complemento técnico da geração renovável, mas como habilitadores de uma oferta energética mais estável, confiável e aderente às realidades e demandas dos territórios. Esse capítulo tem como objetivo examinar, de forma conceitual e empírica, como os SAE podem contribuir para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades brasileiras, com ênfase nas populações em situação de vulnerabilidade e pobreza energética.

No contexto brasileiro, especialmente nas regiões da Amazônia Legal e em comunidades isoladas ou periféricas, o acesso à energia apresenta-se como vetor crítico de desenvolvimento local. A ampliação desse acesso e a melhoria de sua qualidade constitui pré-condição para o fortalecimento das economias locais, para a melhoria dos serviços públicos e para a promoção do empoderamento das comunidades.

Com base nisso, diferentes medidas que buscam promover a universalização do acesso à energia no Brasil vêm sendo implementadas por meio de políticas públicas com o objetivo de ampliar a população abarcada por esse direito. Em especial, considerando os principais mecanismos vigentes atualmente (os Leilões de Sistemas Isolados e o programa Luz para Todos), cabe destacar o papel central das baterias em cada uma destas medidas.

Baterias nos Leilões de Sistemas Isolados

Os Sistemas Isolados (SISOL) são as redes de distribuição de energia elétrica desconectadas do Sistema Interligado Nacional (SIN), que atendem populações em áreas remotas dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e na Ilha de Fernando de Noronha. O atendimento de qualquer crescimento da demanda nessas localidades precisa ser objeto de um processo regulado de contratação de novas soluções de suprimento, conduzido por meio de leilões específicos. Nos Leilões dos Sistemas Isolados, o agente vencedor fica responsável por atender de forma integral à localidade leiloada: não apenas pela entrega de energia, mas pela garantia de capacidade firme de geração, isto é, pela segurança de suprimento contínuo, independentemente das condições climáticas ou operacionais.

Historicamente, esse suprimento foi assegurado por usinas termelétricas movidas a diesel, cujos custos operacionais são elevados, e agravados em função da logística complexa de transporte do combustível até localidades de difícil acesso. As emissões nesses sistemas representam uma contradição no contexto de uma transição energética comprometida com a descarbonização.

Como o custo associado à geração de energia nesses sistemas é significativamente mais alto do que no restante do Brasil, essa diferença é financiada pela Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), parte integrante da CDE. Esse encargo setorial é rateado entre todos os consumidores de energia, e busca não onerar desproporcionalmente a população que não é atendida pelo SIN.

Dessa forma, evidenciado o caráter redistributivo da política e o interesse sistêmico em reduzir essa dependência, destacam-se os aprimoramentos incorporados ao leilão com esse objetivo.

Para incentivar a incorporação de fontes renováveis nos leilões de sistemas isolados, foram implementadas duas medidas principais. A primeira diz respeito a obrigatoriedade de que ao menos 22% da energia contratada seja gerada por fontes renováveis. A segunda se refere a definição de uma bonificação no preço de classificação para propostas que resultem em menores emissões de CO₂ em relação a um projeto de referência.

É nesse ponto que as baterias assumem um papel técnico de grande relevância. Os sistemas isolados operam como ilhas elétricas sem conexão à rede, o que significa que não há fontes externas que possam compensar as oscilações de geração. Em um sistema exclusivamente térmico a diesel, o operador consegue despachar energia conforme a demanda, regulando a geração com precisão. Mas em um sistema com alta penetração de energia renovável variável como a solar (não despachável), a ausência de armazenamento cria desequilíbrios críticos: a geração pode ser elevada ao meio-dia e insuficiente à noite ou em dias nublados. Sem baterias, a renovável não consegue, sozinha, garantir a continuidade do suprimento com confiabilidade.

As baterias resolvem esse problema, uma vez que armazenam o excedente de geração renovável durante os períodos de alta irradiação e o restituem ao sistema nos momentos em que a demanda supera a oferta. Esse papel de "tampão energético" é o que viabiliza a coexistência de fontes renováveis variáveis com os requisitos de confiabilidade dos sistemas isolados. Sem o armazenamento, a obrigação de 22% de renováveis seria de difícil cumprimento, assim como as metas mais ambiciosas de descarbonização da Amazônia Legal.

Baterias no Luz para Todos (LpT)

Como visto anteriormente neste relatório, o LpT tem como objetivo central a universalização do acesso à energia elétrica no Brasil, com foco em populações de baixa renda, agricultores familiares, comunidades tradicionais e localidades remotas não atendidas pelas redes convencionais de distribuição.

Para alcançar as comunidades situadas fora do alcance da rede, o LpT opera com duas grandes estratégias complementares de fornecimento de energia. A primeira, predominante em termos de volume histórico, é a extensão de rede, isto é, a construção de linhas de distribuição que conectam novas localidades ao sistema existente. A segunda é o uso de

soluções isoladas baseadas em geração fotovoltaica com armazenamento, organizadas em dois formatos regulamentados pela ANEEL:

- O SIGFI (Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente) é uma solução domiciliar individual: um kit composto por painel solar, inversor, controlador de carga e banco de baterias instalado diretamente na residência do beneficiário. O sistema atende exclusivamente a uma unidade consumidora, com capacidade de fornecimento que varia conforme o porte – dos 13 kWh/mês nos sistemas menores aos 180 kWh/mês nos maiores, com autonomia mínima garantida de 36 horas sem incidência solar. O SIGFI representa hoje mais de 99% dos sistemas isolados instalados no âmbito do LpT, predominando nas localidades mais dispersas, onde a densidade populacional torna inviável qualquer solução coletiva.
- O MIGDI (Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica) é uma solução coletiva de pequeno porte: um sistema centralizado com potência instalada de até 100 kW que gera energia e a distribui, por meio de uma microrrede local, para múltiplas unidades consumidoras de uma mesma comunidade. Diferentemente do SIGFI, o MIGDI viabiliza o atendimento de espaços coletivos, como escolas, postos de saúde, sistemas de bombeamento de água e centros comunitários, além das residências.

Em ambos os formatos, as baterias são componentes essenciais, não opcionais. É a bateria que resolve o problema fundamental da geração solar fotovoltaica em um sistema isolado: a descontinuidade. Um painel solar gera energia durante as horas de incidência solar (tipicamente entre 6 e 18 horas), mas a demanda das famílias se estende pela noite e pode ser irregular ao longo do dia. Sem armazenamento, o fornecimento seria restrito ao período de geração, reproduzindo a lógica dos antigos geradores a diesel de algumas horas por dia.

A evolução tecnológica das baterias tem sido determinante para a viabilidade e a efetividade do LpT em regiões remotas. Em seus primeiros ciclos, o programa utilizou baterias de chumbo-ácido, que apresentavam baixo desempenho nos climas quentes e úmidos da Amazônia: curta vida útil, sensibilidade às temperaturas elevadas e necessidade de manutenção frequente. A transição para baterias de lítio ferro fosfato (LFP), consolidada ao longo da última década, representou um salto qualitativo: maior durabilidade (vida útil superior a 5 anos em operação contínua nas condições amazônicas), menor necessidade de manutenção, maior capacidade de ciclagem e melhor desempenho térmico. Essa mudança tecnológica foi determinante para que o programa atingisse suas metas nas regiões de maior dificuldade logística.

Nesse contexto, a UCB Power (empresa brasileira fundada em 1973) consolidou-se como o principal fornecedor de baterias para os programas de universalização de acesso à energia no Brasil. A empresa, que já forneceu mais de 60 mil sistemas de armazenamento para comunidades isoladas no âmbito do LpT e do Programa Mais Luz para a Amazônia, acumula um histórico relevante de adaptação tecnológica às condições específicas do ambiente amazônico, da tropicalização dos equipamentos às soluções de proteção contra furtos, umidade e variações de temperatura. A decisão de manter produção nacional, com as células

importadas, mas os demais componentes fabricados no Brasil, também contribuiu para a redução de custos e para a consistência do suporte técnico nas comunidades atendidas.

Do ponto de vista regulatório e de responsabilidade, a estrutura do LpT estabelece que a gestão dos sistemas SIGFI e MIGDI (incluindo a operação, a manutenção e, ao fim da vida útil, o descarte adequado das baterias) é responsabilidade das distribuidoras, que recebem remuneração específica por esses serviços.

Adicionalmente, a análise do impacto socioeconômico deve considerar as principais dimensões de benefícios proporcionados pelos SAE, conforme identificado pelas demais etapas e estudos do projeto. Como principais dimensões, destacam-se:

- (i) Desenvolvimento econômico local e geração de renda;
- (ii) Melhoria da qualidade de vida e acesso a serviços essenciais;
- (iii) Capacitação técnica e geração de empregos; e
- (iv) Empoderamento comunitário e governança energética local.

Essas dimensões não operam de forma isolada. Pelo contrário, constituem um sistema de retornos positivos mútuos: a ampliação do acesso cria as condições para o desenvolvimento econômico; a melhoria na qualidade do fornecimento eleva a produtividade das atividades locais. A formação técnica gera capital humano que pode ser mobilizado para operação e manutenção dos sistemas; e a governança comunitária incentiva a sustentabilidade dos projetos no longo prazo.

Quando bem desenhados e integrados a políticas públicas sensíveis às especificidades territoriais, os SAE podem atuar como catalisadores desse círculo virtuoso, transformando o acesso à energia em plataformas concretas de inclusão social e desenvolvimento econômico local.

A análise a seguir articula evidências holísticas com insights provenientes de experiências práticas no território brasileiro, de modo a oferecer uma abordagem conceitual, mas ancorada na realidade dos projetos em curso no país. Assim, para cada eixo de benefício, são discutidos mecanismos pelos quais os SAE geram valor socioeconômico, as condições habilitadoras para que esses impactos se realizem e os desafios que ainda precisam ser superados.

3.1 Desenvolvimento econômico local e geração de renda

A relação entre energia e desenvolvimento econômico é bidirecional: a atividade econômica requer energia como insumo, e a energia disponível amplia a possibilidade de produção, armazenamento, processamento e comercialização de bens. Os SAEs, ao aprimorarem a qualidade e continuidade do fornecimento energético, atuam sobre cada elo dessa cadeia. Em economias locais marcadas pela dependência de atividades extrativistas, agropecuárias ou pesqueiras (como é o caso de muitas comunidades amazônicas) a energia estável é muitas vezes fator de distinção da viabilidade comercial dessas atividades.

Um dos mecanismos mais diretos de geração de valor econômico pelos SAE é a viabilização da refrigeração contínua de alimentos. Em comunidades que dependem da pesca, por exemplo, a ausência de armazenamento frio obriga a venda imediata do pescado durante o período de safra,

quando a oferta agrega e os preços são baixos. Com acesso a refrigeração contínua (habilitada por sistemas fotovoltaicos com baterias), o pescador pode estocar a produção e vendê-la nos períodos de entressafra, capturando uma vantagem temporal que representa, na prática, uma forma de arbitragem de preços inacessível sem o armazenamento energético. Lógica semelhante se aplica a outras cadeias produtivas, como o beneficiamento de frutos amazônicos, o artesanato e o turismo de base comunitária.

Além do impacto sobre a produtividade das atividades existentes, os SAE contribuem para viabilizar novos empreendimentos que demandam energia estável como condição de funcionamento. Não é raro que a chegada de energia confiável a uma comunidade isolada estimule o surgimento de pequenos negócios (como barbearias, mercearias e oficinas) cuja viabilidade é diretamente condicionada pela disponibilidade de eletricidade. Esse fenômeno reflete o papel da energia como habilitador do empreendedorismo local, ampliando as oportunidades de geração de renda para além das atividades tradicionais.

Outro canal de impacto econômico relevante é a redução dos custos com geração a diesel. Em sistemas isolados, o combustível fóssil chega a representar parcela significativa dos gastos familiares e comunitários. A substituição total ou parcial da geração a diesel por sistemas solares com armazenamento libera recursos que podem ser redirecionados a outras necessidades, funcionando como uma transferência de renda indireta. Soma-se a isso o potencial de redução tarifária no médio e longo prazo, à medida que a maior penetração de renováveis (habilitada pelos SAE) reduz os custos operacionais dos sistemas elétricos e contribui para a modicidade tarifária do setor como um todo.

Projeto Vila Limeira 100% Solar – WWF Brasil e ICMBio

Vila Limeira é uma comunidade ribeirinha de cerca de 80 pessoas e 20 famílias, localizada na Reserva Extrativista Médio Purus, a aproximadamente 850 km de Manaus. A comunidade começou a ser formada em 1958, à época da extração de borracha das seringueiras como política do estado brasileiro de desenvolvimento e povoamento da região. Atualmente, suas principais fontes de renda são a mandioca, o açaí e a castanha, com destaque para uma produção anual de aproximadamente 5 toneladas de açaí [12].

Apesar dessa capacidade produtiva, até setembro de 2021, a comunidade vivia sem acesso à energia elétrica na maior parte do dia, contando com apenas cerca de três horas diárias de fornecimento a partir da geração a diesel. Era durante essas horas que os moradores aproveitavam a rede eletrificada para lavar roupas, carregar celulares, regar plantas e outras atividades cotidianas. Do ponto de vista produtivo, a comunidade era muito afetada pela necessidade de custear gasolina e diesel para a utilização dos fatores de produção, como bombeamento de água e iluminação, um gasto estimado em R\$ 5.000 por família ao ano [12].

Esse cenário se alterou com a implantação, em 2021, de uma mini-rede solar no formato MIGDI (Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica), como parte de uma parceria entre o WWF-Brasil, o ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) e a Fundação Charles Stewart Mott. O sistema conta com geração

fotovoltaica centralizada, armazenamento em baterias de lítio e distribuição entre as unidades consumidoras, tendo sido dimensionado para uma carga diária de 64 kWh com base em conversas com a comunidade sobre as cargas instaladas e o tempo de uso dos equipamentos [11].

Os benefícios econômicos advindos da eletrificação foram significativos. A produção agroextrativista da comunidade totalizou R\$ 119.333 entre setembro de 2021 e agosto de 2022 [11], o que representa um crescimento de aproximadamente 25% em relação a 2019. Esse ganho está fortemente associado à eliminação do gargalo energético: com energia disponível 24 horas por dia, atividades como o processamento de mandioca, a operação da marcenaria e o bombeamento de água deixaram de estar restritas às poucas horas de funcionamento do gerador diesel, permitindo a utilização irrestrita dos fatores de produção. Para além do aumento direto do valor da produção, o custo evitado com a eliminação da geração a diesel também é considerável. Atualmente, cada família contribui com R\$ 720 por ano a um fundo comunitário destinado à manutenção e expansão da rede – valor muito inferior aos R\$ 5.000 anuais antes despendidos com combustível [12].

Não só houve um impacto econômico instantâneo, verificado no aumento da renda e na redução dos gastos com eletricidade, como a eletrificação levou a impactos indiretos e de longo prazo. A energia firme e contínua permitiu que onze moradores se inscrevessem em cursos universitários a distância [11], ampliando o capital humano e o potencial econômico da comunidade. Adicionalmente, Vila Limeira já projeta dobrar o número de placas solares para expandir a produção de açaí, com metas de até 60 toneladas anuais, um salto que incluiria o beneficiamento da produção de comunidades vizinhas ainda sem acesso à energia constante [12]. Essa perspectiva ilustra como desbloquear o potencial produtivo de uma comunidade por meio da eletrificação pode transbordar os benefícios econômicos para regiões adjacentes, funcionando como um polo agregador de desenvolvimento local.

Projeto Sempre Luz em Santa Helena do Inglês – FAS e UCB Power

Santa Helena do Inglês é uma comunidade ribeirinha de cerca de 130 pessoas localizada na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Negro, a 60 km de Manaus, acessível apenas por via fluvial. A comunidade é um caso emblemático de transição produtiva: até 2008, quando a área se tornou reserva protegida, a principal atividade econômica era a extração ilegal de madeira. A partir daí, com apoio da FAS (Fundação Amazônia Sustentável), os moradores passaram a investir em pesca artesanal e turismo de base comunitária. Em 2014, as mulheres da comunidade inauguraram a Pousada Vista Rio Negro, um empreendimento coletivo com oito quartos, financiado pelo Programa Bolsa Floresta (FAS/Fundo Amazônia/BNDES) [13], que já chegou a receber turistas de países como Argentina, Bélgica, Inglaterra e Dinamarca.

Ainda que o vilarejo tenha conseguido redesenhar sua base produtiva, e que o programa Luz para Todos tenha levado energia elétrica à região a partir de 2012 [14], o fornecimento precário se impunha como uma restrição à plena realização dessas atividades. Para o turismo,

as quedas constantes de luz afastavam hóspedes, já que a falta de energia não significava apenas ficar no escuro, mas a impossibilidade de oferecer serviços básicos de hospitalidade, como refrigeração dos alimentos servidos, preparo de refeições, ventilação num clima quente e úmido.

Para a pesca, a ausência de refrigeração contínua impedia que o pescado fosse estocado por períodos mais longos, obrigando que a venda ocorresse no mesmo período da captura. Esse ponto é central na dinâmica econômica da atividade, visto que vender o peixe durante a alta temporada da pesca significa enfrentar uma oferta agregada elevada e, portanto, preços significativamente mais baixos. Além disso, a renda da comunidade ficava condicionada à sazonalidade da temporada, deixando os pescadores sem receita nos períodos de baixa temporada de pesca.

As interrupções não eram pontuais, já que as linhas de transmissão atravessavam áreas de floresta. Em caso de tempestades, a queda de árvores sobre os cabos era frequente, causando apagões que podiam durar dias. Em um desses episódios, a comunidade ficou 12 dias sem eletricidade [14]. Para o dono de uma mercearia local, que dependia de estoque de gelo para conservar o pescado armazenado, a situação representava o risco de perder cerca de R\$ 800 em mercadoria a cada evento [14]. Em termos econômicos, tratava-se de um custo de oportunidade elevado: a comunidade dispunha dos ativos, como a pousada, o rio, os saberes de pesca e hospitalidade, mas não conseguia operá-los com regularidade.

Com a chegada do projeto Sempre Luz em 2021, uma parceria entre a FAS e a UCB Power, esse cenário mudou. O sistema instalado (com 132 painéis solares (52,8 kW), 54 baterias de lítio (259 kWh de capacidade) e 9 inversores híbridos) passou a atender 28 residências e 4 espaços coletivos, com o diesel relegado à função de *backup* [15]. Do ponto de vista econômico, o impacto mais relevante não foi a criação de atividades novas, mas a viabilização plena das que já existiam. A pousada pôde operar com ar-condicionado, ventiladores e refrigeração contínua, atenuando o calor da região, espantando os mosquitos e eliminando as interrupções nos serviços prestados aos hóspedes. A pesca ganhou uma dimensão nova com o uso de freezers: o pescador deixou de ser obrigado a vender toda a produção na temporada alta e passou a poder estocar o pescado para vender quando o preço é mais favorável. A refrigeração criou, na prática, uma forma de arbitragem temporal: o pescador estoca quando o preço está baixo e vende quando está alto, capturando um diferencial que antes era inacessível. Segundo a FAS, o preço do peixe chega a ser dez vezes maior fora de temporada, em relação ao preço no pico da temporada [14].

Tanto para a pesca quanto para o turismo, a continuidade do fornecimento energético é o que garante que esses ganhos se mantenham. A bateria é o componente que assegura o funcionamento dos equipamentos durante a noite e nos períodos sem geração solar, permitindo que a refrigeração do pescado e os serviços da pousada não dependam mais das condições climáticas ou da estabilidade da rede.

3.2 Qualidade de vida e acesso a serviços essenciais

A energia é um insumo transversal para o acesso a serviços fundamentais, como saúde, educação, saneamento, segurança, comunicação. Portanto, seu impacto sobre a qualidade de vida vai muito além da possibilidade de acender uma lâmpada. Nessa perspectiva, os SAE ampliam os benefícios socioeconômicos da eletrificação em pelo menos três dimensões principais: a extensão do horário de funcionamento de serviços essenciais, a garantia de confiabilidade em atividades sensíveis à interrupção e o estímulo à digitalização e à conexão.

No campo da saúde, a disponibilidade de energia contínua é requisito para o funcionamento adequado de unidades básicas de saúde, em especial para a conservação de vacinas, o funcionamento de equipamentos médicos e o atendimento de urgências. Sistemas fotovoltaicos com baterias que garantem fornecimento independente à rede para postos de saúde em áreas remotas têm sido apontados por organismos internacionais [16] como intervenções de alto custo-efetividade, dada a amplitude dos impactos em saúde que decorrem da garantia da cadeia de frio e do acesso a equipamentos de diagnóstico e tratamento. No Brasil, desafios similares são enfrentados por comunidades amazônicas que dependem de geradores a diesel para o funcionamento de seus postos de saúde e que convivem com frequentes interrupções no fornecimento.

Na educação, o impacto dos SAE se manifesta tanto pela possibilidade de ampliar o horário de funcionamento das escolas (viabilizando atividades noturnas e uso de laboratórios de informática) quanto pelo acesso à internet e a plataformas de ensino à distância. Em comunidades onde a jornada produtiva diurna é intensa e os jovens só podem estudar à noite, o fornecimento seguro e contínuo de energia é uma condição essencial para que a educação se realize. Estudos sobre o impacto da eletrificação em áreas rurais consistentemente apontam melhora nos indicadores educacionais associados à disponibilidade de energia, incluindo aumento nas taxas de frequência e desempenho escolar [17].

Adicionalmente, a poluição sonora se destaca como um dos principais impactos negativos associados à instalação de geradores a diesel próximos às comunidades. O ruído contínuo dessas unidades pode comprometer a realização de aulas, atividades educativas e outras dinâmicas cotidianas, afetando o bem-estar e a qualidade de vida local. A substituição desses sistemas por soluções de geração solar associadas a baterias oferece a vantagem de reduzir significativamente os impactos sonoros, contribuindo para ambientes mais silenciosos e adequados às atividades comunitárias.

A iluminação pública é outra dimensão frequentemente subvalorizada no debate sobre acesso à energia. A ausência de iluminação nas áreas comuns de comunidades isoladas compromete a segurança, limita o uso dos espaços coletivos ao período diurno e restringe a vida social e cultural após o anoitecer. Sistemas simples de iluminação solar com pequenas baterias, como postes fotovoltaicos autônomos, podem transformar substancialmente essa realidade a um custo relativamente baixo. Por fim, a energia contínua viabiliza o uso de equipamentos de comunicação, incluindo rádios e, mais recentemente, dispositivos de acesso à internet via satélite, que em regiões remotas representam não apenas uma conexão ao mundo, mas um canal

de acesso a serviços de saúde, educação, mercados e informações essenciais para a tomada de decisões produtivas e civis.

Projeto Saúde e Alegria – Acesso Contínuo à Saúde

O Projeto Saúde e Alegria atuou na comunidade ribeirinha de São Miguel, localizada na região do Rio Arapinus, no oeste do Pará. O objetivo do programa é de mitigar limitações no acesso a serviços básicos de saúde decorrentes da precariedade no fornecimento de energia elétrica.

Até a implementação do projeto, a comunidade contava com energia apenas entre as 18h e 22h, proveniente de um gerador a diesel que abastecia 96 residências, estruturas públicas e uma Unidade Básica de Saúde [18]. Além das limitações de horário, a qualidade do fornecimento de energia se deteriorou à medida que a demanda da comunidade se aproximou da capacidade máxima do gerador. Como resultado, os atendimentos na UBS passaram a ser significativamente impactados. A unidade não conseguia manter a geladeira de vacinas em funcionamento contínuo, comprometendo a cadeia de frio exigida pelo Programa Nacional de Imunizações, nem operar equipamentos essenciais, como inaladores, para atendimento de urgência respiratória.

Com a chegada do Projeto Saúde e Alegria, em parceria com a Secretaria Municipal de Saúde e apoio da Fundação Mott, a UBS ganhou um sistema fotovoltaico *off-grid* de 2,25 kWp com bateria de lítio 48V/3,6 kWh [19]. Esse sistema melhorou a prestação do serviço de saúde da região: com o fornecimento ininterrupto de energia para a unidade, a UBS passou a armazenar vacinas de forma adequada e a dispor de equipamentos para atendimentos de urgência, algo que antes era inviável.

Os impactos do projeto se estendem, ainda, para além da comunidade de São Miguel. A UBS atende também outras dez comunidades e sete aldeias da região, totalizando 339 famílias e aproximadamente 1.687 pessoas [18]. Nesse contexto, o armazenamento em baterias foi determinante para assegurar a continuidade de um serviço essencial.

ONG Litro de Luz – Iluminação Pública e Segurança Comunitária

A ONG Litro de Luz atua na promoção de soluções acessíveis de iluminação para populações em situação de vulnerabilidade energética. No Brasil, a organização atua adaptando o modelo para diferentes contextos (de comunidades urbanas periféricas a regiões ribeirinhas isoladas, com foco na disseminação de tecnologias simples, de baixo custo e fácil manutenção).

Sua atuação se concentra na instalação de sistemas de iluminação pública solar construídos com materiais amplamente disponíveis, como canos de PVC, painéis fotovoltaicos, baterias e lâmpadas LED protegidas por garrafas PET. O funcionamento é baseado no armazenamento de energia ao longo do dia e sua utilização durante a noite, permitindo a oferta de iluminação de forma autônoma, sem dependência de rede elétrica.

Desde sua fundação, a organização já instalou mais de 400 postes em diferentes contextos, incluindo favelas no Rio de Janeiro e em São Paulo, além de comunidades ribeirinhas no interior do Amazonas, beneficiando mais de 5.000 pessoas [20]. Além da instalação da infraestrutura, o projeto incorpora a capacitação de moradores locais para a manutenção dos sistemas, contribuindo para a sustentabilidade da solução no longo prazo.

Como resultado, as comunidades passam a utilizar espaços públicos após o pôr do sol. Porém, os benefícios associados à iluminação pública nesses contextos vão além da simples ampliação do tempo de uso dos espaços coletivos. A presença de iluminação noturna está diretamente relacionada ao aumento da sensação de segurança, especialmente em áreas com infraestrutura urbana limitada. Ambientes iluminados tendem a inibir a ocorrência de atividades ilícitas e reduzir riscos associados à circulação em vias escuras, como acidentes e situações de vulnerabilidade, sobretudo para mulheres, idosos e crianças.

Além disso, a iluminação possibilita a extensão de atividades sociais, educacionais e econômicas para o período noturno, fortalecendo a coesão comunitária e ampliando o uso de espaços públicos. Em comunidades onde a ausência de luz restringe a mobilidade após o pôr do sol, a introdução de iluminação pública representa, na prática, a reativação da vida comunitária no período noturno.

Nesse contexto, o uso de baterias é um componente crítico, pois viabiliza a continuidade do serviço de iluminação independentemente da disponibilidade instantânea de geração solar. Ao garantir luz durante a noite, o sistema não apenas melhora a infraestrutura local, mas contribui diretamente para a segurança, o bem-estar e a qualidade de vida da população.

Comunidade Ilha Escura – Fim do Racionamento

A comunidade da Ilha Escura, localizada no município de São José dos Campos (SP), exemplifica como limitações no acesso à energia elétrica não são exclusivas de regiões remotas. Apesar da sua localização às margens do Rio Paraíba do Sul, próxima a centros urbanos desenvolvidos, a comunidade permaneceu por cerca de 60 anos sem acesso regular à eletricidade [21].

Em 2013, a distribuidora de energia EDP implementou um sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias de chumbo, representando um avanço inicial ao acesso à energia. No entanto, a solução não era capaz de garantir fornecimento contínuo, impondo a moradores a necessidade de racionamento. Relatos indicam que era necessário escolher entre utilizar a geladeira ou assistir televisão, devido à limitação do sistema em sustentar múltiplas cargas simultaneamente.

Com o tempo, o desempenho das baterias de chumbo se deteriorou, levando à interrupção do sistema e à retomada do uso de geradores a diesel. Essa alternativa, além de mais cara, era restrita ao período noturno.

Para solucionar essas questões, em 2023, o sistema fotovoltaico com armazenamento foi modernizado por meio de uma parceria entre a EDP e a UCB Power, com a substituição das baterias por tecnologia de lítio. A nova solução passou a oferecer até 48 horas de autonomia e vida útil estimada de 15 anos, eliminando a necessidade de racionamento [21]. Como resultado, os moradores passam a contar com fornecimento contínuo de energia, podendo utilizar equipamentos elétricos de forma simultânea e sem restrições.

A continuidade do fornecimento de energia elétrica trouxe ganhos imediatos em qualidade de vida. Por um lado, a eliminação do racionamento ampliou o acesso ao lazer dentro de casa, permitindo o uso irrestrito de rádio e televisão. Por outro lado, o fim da dependência de velas e lâmpões a partir do anoitecer estendeu o horário produtivo dos moradores, abrindo espaço para atividades como estudo e trabalho noturno.

O caso evidencia o papel crítico das baterias, em especial por meio de tecnologias mais modernas, não apenas na expansão do acesso, mas na qualidade e confiabilidade do serviço elétrico.

3.3 Capacitação técnica e geração de empregos

É importante considerar como investimentos em determinado setor podem gerar externalidades positivas em outros setores da economia local, gerando “efeitos de encadeamento”⁷. No contexto dos SAE, esses encadeamentos se manifestam tanto a montante (na demanda por insumos, transporte e logística) quanto a jusante, na energia que viabiliza atividades produtivas diversas. A capacitação técnica decorrente da instalação desses sistemas representa um encadeamento de natureza humana: a formação de capital humano local com competências transferíveis para outros contextos de operação de sistemas elétricos, ampliando as oportunidades de inserção no mercado de trabalho para além da própria comunidade.

A instalação e operação de sistemas de energia baseados em renováveis e armazenamento cria uma demanda por capacidade técnica que, quando atendida localmente, pode se converter em uma das contribuições mais duradouras dos SAE ao desenvolvimento socioeconômico. Quando estruturada como parte do projeto, essa demanda pode ser atendida por moradores das próprias comunidades beneficiadas, gerando empregos locais de caráter técnico e qualificado.

Cabe destacar que essa dimensão de capacitação não ocorre de forma espontânea: ela precisa ser intencionalmente incluída no desenho dos projetos. Experiências que demonstraram maior impacto na formação de mão de obra local são aquelas que previram, desde o início, a articulação com instituições de capacitação profissional (como o SENAI) e que adaptaram os

⁷ Os “efeitos de encadeamento” dizem respeito a conceito estabelecidos na literatura sobre desenvolvimento econômico, que define encadeamentos produtivos como os efeitos indiretos gerados por investimentos em um determinado setor sobre outro setor da economia, podendo ocorrer a montante, por meio do aumento da demanda por insumos e serviços intermediários, ou a jusante, ao viabilizar novas atividades econômicas a partir da oferta de bens ou serviços.

currículos de formação às especificidades técnicas e culturais das comunidades atendidas. A inclusão de mulheres nesse processo de capacitação tem sido destacada como um fator de potencialização dos impactos, dado o papel central que as mulheres frequentemente exercem na gestão dos recursos domiciliares e comunitários em comunidades tradicionais. Além da geração de empregos diretos na operação e manutenção dos sistemas, a energia confiável habilita a criação indireta de novos postos de trabalho nos negócios que se tornam viáveis com o fornecimento estável de eletricidade, consolidando um legado econômico que transcende a vida útil do próprio equipamento.

Para além dos efeitos diretamente associados ao setor de energia, a disponibilidade de eletricidade confiável tende a induzir transformações mais amplas na dinâmica econômica local. À medida que novos negócios são criados e atividades existentes se expandem, surge uma demanda crescente por diferentes perfis de mão de obra, desde serviços básicos e comércio até funções mais especializadas associadas à operação de equipamentos, processamento de produtos e prestação de serviços. Esse processo contribui para a diversificação das oportunidades econômicas, reduz a dependência de atividades de subsistência e amplia as alternativas de geração de renda dentro da própria comunidade.

Adicionalmente, a maior circulação de renda e o aumento da complexidade das atividades produtivas estimulam o desenvolvimento de mercados locais e a atração de novos serviços, reforçando um ciclo virtuoso de desenvolvimento. Nesse contexto, os SAE não apenas viabilizam o acesso à energia, mas atuam como catalisadores de transformações estruturais, ao sustentar condições para a geração contínua de trabalho, renda e capacitação em múltiplos setores da economia local.

Aggreko – Geração de Emprego para Operação dos Sistemas

A implantação e operação de sistemas de geração distribuída com armazenamento em baterias em sistemas isolados, por exemplo, cria uma demanda contínua por mão de obra qualificada, resultando na geração de empregos diretos associados à operação, manutenção e gestão desses ativos.

Um exemplo relevante é o da Aggreko, empresa responsável pela operação de sistemas híbridos em 26 localidades isoladas na Amazônia Legal. Esses sistemas combinam geração térmica, solar e armazenamento em baterias, exigindo equipes locais para atividades como operação dos equipamentos, manutenção preventiva e corretiva, logística de insumos e gestão dos sistemas.

Atualmente, a empresa emprega diretamente 196 profissionais nessas localidades [27], evidenciando o potencial de geração de emprego formal associado à infraestrutura energética. Em 2025, 25 desses sistemas foram selecionados em chamada pública do Comitê Gestor do Programa de Redução Estrutural de Custos de Geração de Energia na Amazônia Legal (CGPAL) para processos de hibridização, com previsão de instalação de 88 MWp de geração solar e 105 MWh em baterias [23].

Esse movimento indica uma tendência de expansão da base instalada de sistemas híbridos, o que tende a ampliar a demanda por profissionais qualificados nessas regiões. Nesse contexto, a eletrificação baseada em sistemas com baterias não apenas viabiliza o acesso à energia, mas também cria oportunidades de emprego estruturais e de longo prazo, vinculadas à operação contínua da infraestrutura.

Formação de Mão-de-Obra Local – “Energias do Sol” e “Eletricistas do Sol”

Para além da geração de empregos diretos, projetos de eletrificação em diferentes comunidades têm incorporado a capacitação técnica de moradores locais como estratégia para garantir a sustentabilidade das soluções e reduzir a dependência de suporte externo.

Um exemplo é o projeto Kurasí Turi (“Energia do Sol”, na língua Nheengatu), implementado na comunidade de Terra Preta, no Amazonas, por meio de uma parceria entre a Revulusolar, o Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e o Instituto Clima e Sociedade (iCS). A iniciativa buscou mitigar a instabilidade no fornecimento de energia local, que deixava a comunidade sem luz, em média, oito dias por mês, por meio da instalação de um sistema fotovoltaico com baterias, complementar à rede existente [24].

Como parte do projeto, 20 moradores foram capacitados pelo IFAM em um curso de formação profissional voltado à instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos. Essa formação permite que os participantes atuem formalmente como eletricistas, criando uma base local de conhecimento técnico capaz de sustentar a operação do sistema no longo prazo.

Em linha semelhante, o programa Eletricistas do Sol, uma iniciativa do Projeto Saúde e Alegria com apoio do iCS, promoveu a formação técnica de 22 mulheres de 12 comunidades, aldeias e quilombos nos municípios de Santarém, Óbidos e Oriximiná. A iniciativa não apenas contribui para a autonomia energética das comunidades, como também amplia oportunidades de geração de renda, ao permitir que as participantes atuem profissionalmente na instalação e manutenção de sistemas solares [25].

Esses casos evidenciam que a eletrificação, quando associada à capacitação técnica, deixa como legado não apenas infraestrutura, mas também capital humano, com potencial de inserção produtiva e geração de renda no longo prazo.

Energia como Habilitadora de Negócios e Renda Local

A disponibilidade de energia elétrica contínua e de qualidade também atua como um fator habilitador para o surgimento e a expansão de atividades econômicas locais, com impactos indiretos, porém relevantes, sobre a geração de emprego e renda.

Um exemplo ilustrativo é o de Flávio [26], morador da comunidade de Terra Firme, às margens do Rio Madeira, em Rondônia. Antes da eletrificação, Flávio havia deixado a

comunidade em busca de oportunidades de trabalho em áreas urbanas, refletindo a limitação de atividades econômicas locais decorrente da ausência de energia elétrica confiável.

Esse cenário mudou com a instalação, pela distribuidora Energisa, de um sistema de geração solar com baterias, que passou a garantir fornecimento de energia 24 horas por dia. Com isso, Flávio retornou à comunidade e abriu uma barbearia, um negócio que depende diretamente de eletricidade para operar.

O caso exemplifica um efeito mais amplo: a eletrificação viabiliza o funcionamento de uma gama de atividades produtivas e de serviços que antes eram inviáveis, como pequenos comércios, oficinas, produção de alimentos, refrigeração de insumos e prestação de serviços pessoais.

Embora esses impactos ocorram de forma descentralizada e em menor escala individual, seu efeito agregado pode ser significativo, ao dinamizar a economia local, reduzir a necessidade de migração e fortalecer a autonomia das comunidades. Nesse contexto, as baterias desempenham um papel central ao garantir a continuidade do fornecimento de energia, permitindo que essas atividades operem de forma estável e previsível.

3.4 Empoderamento comunitário e governança energética

O empoderamento comunitário é talvez a dimensão mais complexa e menos mensurável dos impactos socioeconômicos dos SAE. Refere-se à capacidade das comunidades de exercer controle sobre os sistemas energéticos que as atendem, de participar das decisões sobre sua operação e expansão, de distribuir coletivamente os benefícios gerados e de manter a sustentabilidade dos projetos ao longo do tempo. Quando os SAE são implantados no interior de modelos de governança comunitária (como as comunidades energéticas), essa dimensão se articula diretamente às demais, potencializando seus impactos.

Os SAE potencializam o empoderamento comunitário por uma razão estrutural: ao garantirem continuidade e estabilidade no fornecimento de energia, reduzem a dependência das comunidades de agentes externos para o funcionamento de seus sistemas energéticos. Em sistemas exclusivamente baseados em rede convencional, qualquer interrupção depende da ação de equipes externas para ser sanada. Com sistemas híbridos com armazenamento, as comunidades adquirem uma reserva energética local que funciona como amortecedor de choques externos e aumenta sua autonomia operacional. Essa autonomia energética tem conotação política e cultural, especialmente em territórios tradicionais para os quais a autogestão dos recursos naturais e territoriais é elemento constitutivo da identidade e dos direitos coletivos.

Um aspecto crítico do empoderamento energético é a construção de mecanismos de sustentabilidade financeira para a gestão dos sistemas ao longo do tempo. Experiências bem-sucedidas demonstram que a criação de fundos comunitários de manutenção, financiados por contribuições mensais dos usuários, calibradas de acordo com a capacidade econômica da comunidade e o custo real do serviço, é condição relevante para a continuidade dos projetos após o fim do apoio externo. Esses fundos não apenas cobrem os custos de manutenção e substituição de componentes, mas criam uma dinâmica de governança coletiva em torno de um

recurso comum (a energia) que pode se estender a outras dimensões da vida comunitária. A confecção coletiva de regimentos internos que disciplinem o uso dos sistemas, a distribuição de recursos e os mecanismos de resolução de conflitos fortalece a institucionalidade comunitária e amplia a capacidade de autogestão para além da dimensão energética.

É importante sublinhar que o empoderamento comunitário não é um resultado automático da instalação de sistemas de armazenamento de energia. Ele requer um processo intencionalmente conduzido de engajamento, formação e transferência de responsabilidade para as comunidades. Projetos que instalam equipamentos sem construir as condições institucionais e humanas para a sua gestão autônoma tendem a gerar dependência e fragilidade no longo prazo. Ao contrário, quando a comunidade é tratada como protagonista do processo e não apenas como beneficiária, o potencial transformador dos SAE se realiza de forma plena, articulando acesso à energia, desenvolvimento econômico, formação humana e autonomia comunitária em um círculo virtuoso de inclusão e fortalecimento territorial.

Engajamento Comunitário – Projeto Sempre Luz (FAS)

A Fundação Amazônia Sustentável (FAS) atua desde 2007 em comunidades remotas e tradicionais da Amazônia brasileira, combinando implantação de soluções de energia limpa com empoderamento local, preservação ambiental e geração de renda. Sua abordagem parte de um diagnóstico compartilhado com as próprias comunidades: a energia elétrica confiável é, na maioria dos casos, a principal demanda identificada pelos moradores, e sua ausência é o principal obstáculo à realização de outros projetos de desenvolvimento local.

A FAS atua nas lacunas deixadas por programas nacionais como o Luz para Todos: o subdimensionamento dos sistemas instalados, que frequentemente não suportam usos produtivos, e a exclusão prática de infraestruturas comunitárias compartilhadas, como escolas, centros de artesanato, pousadas comunitárias e sistemas de bombeamento de água. O modelo adotado parte justamente do oposto: o dimensionamento dos sistemas é feito em conjunto com as associações locais, considerando não apenas o consumo residencial, mas também os serviços públicos e as atividades produtivas que a comunidade deseja viabilizar.

Os sistemas instalados, como os do projeto Sempre Luz, desenvolvido em parceria com a UCB Power com recursos de P&D, integram geração fotovoltaica e armazenamento em baterias de lítio, garantindo fornecimento contínuo inclusive durante a noite e nos períodos sem geração solar. As baterias são o componente que assegura que a refrigeração do pescado, os serviços da pousada comunitária e o funcionamento das escolas não dependam das condições climáticas ou da estabilidade de uma rede aérea vulnerável.

Além dos impactos econômicos diretos, a FAS estrutura, desde o início de cada projeto, as condições para a gestão autônoma dos sistemas pelas próprias comunidades. Isso inclui a formação de técnicos locais (em parceria com o SENAI Amazonas e com a Schneider Electric) para operação e manutenção de sistemas de baixa tensão; a criação de fundos comunitários de manutenção, financiados por contribuições mensais calibradas à capacidade econômica dos moradores; e a elaboração participativa de regimentos internos que disciplinam o uso

dos sistemas, a distribuição dos recursos do fundo e os mecanismos de resolução de conflitos. Esses regimentos não são impostos pela FAS. Pelo contrário, são construídos pela própria comunidade, com a fundação orientando quais pontos precisam ser definidos, mas sem determinar as decisões.

A logística reversa das baterias é também parte integrante dos termos acordados com as comunidades. Ao final da vida útil dos equipamentos, as baterias devem ser devolvidas à FAS ou a um parceiro especializado para descarte ambientalmente adequado. Esse mecanismo demonstra que é possível construir, desde a concepção dos projetos, ciclos completos de responsabilidade da instalação ao descarte, mesmo em contextos de isolamento geográfico extremo.

O modelo da FAS aponta para um conjunto de condições habilitadoras do empoderamento comunitário por meio de SAE, com planejamento conjunto desde o início; dimensionamento que considera usos produtivos e coletivos; formação de pessoal local como parte integral do escopo; construção participativa de regras de gestão; mecanismos de sustentabilidade financeira; e previsão de logística reversa. Essas condições, que a FAS desenvolveu ao longo de quase duas décadas de atuação, deveriam ser incorporadas como requisitos mínimos nos editais e contratos que viabilizam a expansão dos SAE em comunidades da Amazônia Legal.

Cooperativismo – Revolusolar

Fundada em 2015 no Morro da Babilônia, na Zona Sul do Rio de Janeiro, a Revolusolar é uma organização sem fins lucrativos que combina instalações solares, formação profissional e educação comunitária como estratégia integrada de combate à pobreza energética em comunidades de baixa renda. A metodologia da Revolusolar, denominada Ciclo Solar, organiza sua atuação em quatro frentes integradas: instalações solares em espaços coletivos e residências; programa de formação profissional com equidade de gênero como critério explícito de seleção; oficinas culturais e educativas para crianças e jovens; e governança cooperativa da energia gerada. O modelo é centralizado no conceito de Geração Distribuída de Interesse Social (GDIS): os beneficiários são tratados como "prossumidores" (cidadãos que simultaneamente produzem e consomem energia) e participam ativamente das decisões sobre o sistema.

Em 2021, a Revolusolar apoiou a criação da Cooperativa Percília e Lúcio de Energias Renováveis (a primeira cooperativa de energia solar em favelas do Brasil) nas comunidades da Babilônia e Chapéu Mangueira. A cooperativa opera uma usina solar instalada no telhado da Associação de Moradores e redistribui créditos de energia para os moradores cooperados, permitindo reduções de até 40% nas contas de eletricidade. Em três anos de operação, o sistema produziu mais de 70 mil kWh e gerou economia de cerca de R\$ 80 mil anuais na conta de energia da comunidade — recursos parcialmente revertidos a um fundo comunitário que financia os próprios instaladores formados no programa, criando um ciclo de reinvestimento local.

A incorporação de baterias no projeto amplia substancialmente esses benefícios. No hostel comunitário da Babilônia, um dos espaços beneficiados e plataforma de fomento ao empreendedorismo feminino local, o armazenamento garante que a energia gerada durante o dia esteja disponível à noite, eliminando a dependência da rede para a operação contínua do negócio. Para os moradores, a bateria representa a diferença entre um sistema que complementa a rede e um sistema que oferece resiliência real em caso de interrupção do fornecimento convencional, uma ocorrência frequente em comunidades periféricas, onde a infraestrutura de distribuição é historicamente precária.

Um aspecto central da abordagem da Revolusolar é a relação com as comunidades onde atua. O nome do projeto é escolhido pela própria comunidade. A cartografia social do território (suas dinâmicas internas de poder, suas lideranças, suas prioridades) é levada em conta desde o início do processo de implementação. Essa atenção à dimensão comunitária é identificada pela organização como fator determinante para o sucesso dos projetos: sem ela, os equipamentos se degradam e o potencial transformador se dissipa. Com ela, a energia solar se torna um catalisador de identidade coletiva e de protagonismo comunitário.

A Revolusolar está expandindo seu modelo para além do Rio de Janeiro. Já atua na comunidade indígena Terra Preta, em Manaus, onde o projeto Kurasí Turi ("Energia do Sol" em Nheengatu), desenvolvido com o IFAM e apoio do iCS, combinou a instalação de sistemas fotovoltaicos com baterias na escola local com a formação de 20 membros da comunidade como eletricitistas de instalações fotovoltaicas. A organização também tem atuação no Espírito Santo e em São Paulo, e planeja expandir para 100 comunidades. Em 2024, o modelo foi apresentado no G20 Social como referência internacional em inovação social e energética, reconhecimento que evidencia o potencial de replicação dessa abordagem em escala nacional.

4 POTENCIAIS PONTOS DE ATENÇÃO

Para além dos benefícios socioeconômicos dos SAEs, é necessário considerar de forma crítica os potenciais riscos e efeitos negativos associados à sua difusão. Uma transição energética justa demanda não apenas a maximização dos benefícios, mas também a identificação e a mitigação das externalidades negativas que podem acompanhar essa tecnologia.

Este capítulo dialoga e avança em relação ao **Relatório 4**, que trata dos riscos ambientais e operacionais de um projeto com baterias, do licenciamento ao descarte, sob a ótica técnica e regulatória. Aqui, a análise se desloca para a perspectiva da economia e da interação humana, agregando dimensões frequentemente ausentes das avaliações estritamente técnicas: as condições de trabalho ao longo da cadeia, os impactos sobre a saúde de trabalhadores e comunidades, e as vulnerabilidades sociais que se manifestam tanto a montante (na cadeia global de minerais críticos) quanto a jusante (na operação dos sistemas em território brasileiro).

A discussão organiza-se em duas dimensões. A primeira trata dos riscos à saúde e ao meio ambiente, com ênfase nos efeitos sobre populações expostas. A segunda aborda as vulnerabilidades laborais e sociais ao longo da cadeia produtiva, da extração de matérias-primas à operação de SAE em comunidades remotas, e discute a rastreabilidade como caminho de mitigação.

4.1 Riscos à saúde e ao meio ambiente

Os riscos à saúde e ao meio ambiente associados aos SAE manifestam-se em diferentes etapas do ciclo de vida da bateria, com naturezas e intensidades distintas. É importante dimensioná-los com clareza: as baterias de íon-lítio são tecnologia madura, com amplo uso no mundo, e os impactos ambientais agregados são significativamente menores do que os das tecnologias fósseis que substituem.

Ainda assim, esses riscos existem, têm efeitos concretos sobre pessoas, comunidades e ecossistemas, e precisam ser geridos, especialmente em contextos de instalação em áreas remotas, onde a capacidade de resposta a incidentes é menor e a infraestrutura de coleta é limitada.

A operação de SAE é, em condições normais, segura. Os incidentes mais relevantes ocorrem em situações específicas, sobretudo associados a falhas térmicas (fenômeno conhecido como *thermal runaway*) que podem evoluir para incêndios [28]. Embora a probabilidade seja baixa e decrescente em sistemas projetados conforme normas técnicas, as consequências, quando ocorrem, têm dimensão tanto humana quanto ambiental. Os principais vetores de risco são:

- **Fumaça tóxica.** A combustão de células de íon-lítio libera compostos como fluoreto de hidrogênio, monóxido de carbono e óxidos metálicos. Para trabalhadores e comunidades próximas, o risco é de irritação respiratória aguda, intoxicação e, em exposição prolongada, danos pulmonares. Para o entorno, há deposição de partículas em solo e vegetação no raio de dispersão da fumaça [29].
- **Propagação de chamas.** Em instalações próximas a vegetação seca, o risco de evolução para queimada de superfície é real, particularmente preocupante em comunidades isoladas onde

a resposta de combate a incêndios é limitada ou inexistente. O dano combina perda de cobertura vegetal, fauna afetada e exposição direta de pessoas a calor e fumaça [30].

- **Vazamento de eletrólito.** Falhas mecânicas ou avarias durante incidentes podem liberar eletrólito sobre solo e fontes de água superficial no entorno imediato da instalação, com potencial de contaminação localizada que afeta tanto consumo humano quanto ecossistemas aquáticos [31].

Esses riscos são gerenciáveis com projeto adequado (sistemas de detecção precoce, espaçamento entre racks, supressão automática), capacitação de operadores locais e protocolos de resposta a emergências articulados com defesa civil municipal. A ausência desses elementos é o que efetivamente transforma uma probabilidade baixa em risco material.

Outro ponto da cadeia de grande exposição socioambiental para comunidades brasileiras é o momento do descarte. Caso ocorra de forma inadequada, ele representa impacto negativo significativo: as baterias contêm metais pesados e compostos químicos potencialmente tóxicos. Quando essas substâncias são lançadas ao meio ambiente por meio de descarte irregular em aterros sanitários ou lixões, a contaminação atinge dois planos ao mesmo tempo.

No plano ambiental, metais como lítio, cobalto, níquel, manganês e cromo lixiviam dos resíduos e podem migrar por distâncias de quilômetros do ponto de origem, contaminando solo, lençóis freáticos e cursos d'água superficiais. A acidificação do entorno potencializa a mobilidade desses metais, ampliando a área afetada. Os efeitos se estendem à fauna aquática, à microbiota do solo e à vegetação local, com prejuízos que podem persistir por décadas.

Além disso, a contaminação por metais pesados provenientes de baterias descartadas indevidamente, seja por contato direto com resíduos, seja por consumo de água ou alimentos contaminados, pode causar:

- danos neurológicos e de desenvolvimento, particularmente preocupantes em crianças expostas a chumbo;
- doenças respiratórias e cardiovasculares associadas à exposição crônica a níquel e manganês;
- riscos cancerígenos, em especial pela exposição ao cobalto, classificado pela *International Agency for Research on Cancer* como possivelmente carcinogênico para humanos [32].

O risco é particularmente maior em contextos em que as comunidades beneficiárias estão em localidades remotas, com barreira logística para a coleta, e onde não há mecanismos institucionais ou contratuais que vinculem a responsabilidade pelo descarte a um agente com capacidade de executá-lo⁸.

A evolução da tecnologia e redução dos riscos à saúde e meio ambiente

⁸ Esse aspecto de risco torna ainda mais importante a discussão sobre gestão de resíduos e logística reversa aprofundada na etapa anterior do presente estudo (*Formulação de modelos operacionais para integração dos Sistemas de Armazenamento*).

Os riscos descritos nesta seção refletem o estado atual da tecnologia, mas o setor evolui rapidamente em direções que tendem a mitigá-los.

Baterias mais seguras, como as baterias de lítio ferro fosfato (LFP), hoje predominantes em sistemas estacionários, são significativamente mais estáveis do ponto de vista térmico do que as químicas NMC (Óxido de Lítio, Níquel, Manganês e Cobalto) tradicionais, com menor probabilidade de *thermal runaway* e menor liberação de gases tóxicos em caso de falha. Sistemas de gerenciamento de bateria (BMS), detecção precoce de anomalias térmicas e supressão automática de incêndio vêm se tornando padrão de mercado, e normas técnicas internacionais consolidam boas práticas de projeto, instalação e operação [33].

Tecnologias com componentes menos críticos do ponto de vista socioambiental estão em desenvolvimento avançado. As baterias de íon-sódio, que substituem o lítio por um material abundante e de baixo custo ambiental, já têm produção comercial inicial e despontam como alternativa promissora para aplicações estacionárias. Outras rotas em pesquisa apontam para a redução ou eliminação de cobalto nas químicas tradicionais e para o desenvolvimento de baterias de estado sólido, que substituem o eletrólito líquido inflamável por materiais sólidos, com ganhos simultâneos de segurança e densidade energética [34].

A leitura desta seção, portanto, deve ser feita com a consciência de que o esforço atual de gestão de riscos convive com uma trajetória tecnológica clara de redução desses riscos ao longo do tempo.

4.2 Vulnerabilidades laborais e sociais na cadeia produtiva

A expansão dos SAEs depende de uma cadeia produtiva global cujas etapas iniciais (extração e refino de matérias-primas), estão expostas a vulnerabilidades laborais e sociais documentadas: trabalho infantil, trabalho forçado, exposição ocupacional a substâncias tóxicas, condições insalubres em mineração artesanal, conflitos com comunidades indígenas e tradicionais e fragilidade de marcos trabalhistas em jurisdições com fiscalização limitada. Essas vulnerabilidades não são acidentes pontuais. Refletem características estruturais das regiões e dos modos de produção envolvidos, e práticas inadequadas em um único elo comprometem toda a cadeia.

Nesse contexto, vulnerabilidades semelhantes podem emergir, com naturezas distintas, no plano doméstico brasileiro. Desde tensões socioambientais em projetos de mineração até precariedade laboral em equipes de instalação e manutenção de SAE em regiões remotas. Esta seção apresenta o diagnóstico nas duas dimensões e alerta sobre a importância da rastreabilidade da cadeia produtiva dos SAEs, tanto no aspecto do combate à vulnerabilidade humana, quanto posicionar o Brasil como um fornecedor de matéria-prima e, na medida do possível, componentes de origem rastreável.

O caso mais documentado de violação de direitos humanos na cadeia global de baterias é o do cobalto. Grande parte do suprimento mundial vem da República Democrática do Congo, onde

a Anistia Internacional documentou em 2016, em relatório que se tornou referência global, condições degradantes em mineração artesanal, episódio que catalisou o movimento internacional de rastreabilidade no setor [35].

Cobalto na República Democrática do Congo: exploração humana na extração e mineração artesanal

A República Democrática do Congo (RDC) concentra 65% a 76% do cobalto refinado no mundo, mineral essencial para baterias de íon-lítio. Parte significativa dessa produção, estimada entre 5% e 15% do total congolês, vem de mineração artesanal de pequena escala: trabalhadores cavando túneis manualmente, sem licença formal, sem equipamento de proteção, frequentemente em terras concedidas a mineradoras industriais.

As condições documentadas são alarmantes. Em 2024, a Organização Internacional do Trabalho (OIT) [36] identificou mais de 6.200 crianças trabalhando em minas apenas nas províncias de Haut-Katanga e Lualaba. O Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) estima cerca de 40 mil crianças envolvidas no setor no sul do país. Trabalhadores ficam expostos a poeira contendo cobalto, urânio e outros metais tóxicos, em ambientes sem ventilação adequada nem monitoramento de saúde ocupacional. Acidentes fatais por desabamento são frequentes e raramente registrados.

Foi essa realidade, documentada pela Anistia Internacional em 2016 e por organismos internacionais nos anos seguintes, que catalisou o movimento global de rastreabilidade na cadeia de baterias e levou a regulamentações como a Regulação de Baterias da União Europeia. O caso ilustra por que a verificação da origem dos minerais deixou de ser preocupação ética abstrata e se tornou requisito regulatório concreto.

A resposta dos principais mercados consumidores tem sido a proliferação de exigências regulatórias ancoradas em rastreabilidade, em geral alinhadas ao Guia de Due Diligence da OCDE para cadeias minerais responsáveis⁹.

No eixo de rastreabilidade e passaporte de produto, destaca-se a Regulação de Baterias da União Europeia (Regulamento UE 2023/1542), que condiciona a colocação de baterias no mercado europeu à existência de sistema de rastreabilidade que identifique atores *upstream*, com passaporte digital de produto contendo composição material, pegada de carbono por etapa, percentuais de cobalto, lítio, níquel e grafite reciclados, e auditoria de terceira parte. Nos Estados Unidos, a Seção 857a da National Defense Authorization Act, NDAA (2023) exige, desde junho de 2025, que contratados do Departamento de Defesa comprovem a procedência de terras-raras desde a mineração até o refino. O padrão técnico operacional para esse tipo de verificação é o *Battery Passport da Global Battery Alliance*, cujos pilotos de 2024 cobriram consórcios

⁹ OECD Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals From Conflict-Affected and High-Risk Areas: https://www.oecd.org/en/publications/2016/04/oecd-due-diligence-guidance-for-responsible-supply-chains-of-minerals-from-conflict-affected-and-high-risk-areas_g1g65996.html

responsáveis por 80% do mercado global de baterias para veículos elétricos e que deve ter certificação plenamente operacional em 2027 [37].

No eixo de due diligence sobre direitos humanos, três marcos se destacam. Os Estados Unidos aprovaram o *Uyghur Forced Labor Prevention Act* (UFLPA, 2021), que transfere ao importador o ônus de demonstrar que a cadeia não envolve trabalho forçado. A Alemanha (Lei de Devida Diligência, 2021) e o Canadá (*Fighting Against Forced Labour and Child Labour in Supply Chains Act*, 2023) passaram a exigir due diligence ampla sobre direitos humanos e riscos ambientais em cadeias de suprimento.

Em conjunto, esses instrumentos sinalizam que a capacidade de verificar origem e condições de produção deixou de ser diferencial reputacional para se tornar requisito de acesso aos principais mercados consumidores.

No plano doméstico, as vulnerabilidades laborais e sociais na cadeia de SAE têm naturezas distintas das observadas em outros países, como o caso da RDC, mas não são menos relevantes.

No contexto brasileiro, a difusão de sistemas de armazenamento em comunidades isoladas, demanda equipes de instalação e manutenção em localidades de difícil acesso. A ausência de certificações profissionais específicas, de fiscalização adequada das condições de trabalho e de proteção para trabalhadores que atuam em projetos espalhados pelo território cria risco real de informalidade, terceirização frágil e exposição a condições precárias.

Em sistemas comunitários, muitas vezes, há ainda trabalhadores locais responsáveis pela operação cotidiana, leitura de medidores e pequenos reparos, grupo que muitas vezes não tem vínculo formal, recebe remuneração desproporcional à responsabilidade técnica que assume e carece de capacitação que reconheça seu papel. Vale destacar que o trabalho em comunidades isoladas frequentemente envolve trabalhadores migrantes, indígenas e populações tradicionais, de modo que vulnerabilidades laborais nesses contextos têm intersecção com vulnerabilidades étnico-raciais e de gênero, exigindo atenção redobrada.

Ademais, o Brasil é território de mineração relevante, com históricos próprios de tensões socioambientais, especialmente quando relacionadas a conflitos com povos originários e terras indígenas. Esses conflitos não são manifestações isoladas, refletem o desafio estrutural de expandir a mineração de minerais críticos sem reproduzir, em escala doméstica, os mesmos problemas que a transição energética busca evitar globalmente.

O Brasil ocupa uma posição dual na cadeia global de baterias, e essa dualidade define seu interesse direto na agenda de rastreabilidade.

Como importador, o país adquire as células utilizadas nos SAE majoritariamente do mercado asiático, com forte presença chinesa, o que torna a verificação da origem dos minerais um desafio concreto. Sem mecanismos de rastreabilidade, é difícil assegurar que as baterias instaladas no mercado nacional não tenham origem em cadeias com violações de direitos humanos a montante. Esse não é apenas um problema reputacional. É uma exposição jurídica e contratual crescente, à medida que normas extraterritoriais como a Regulação de Baterias da

UE e a UFLPA dos EUA passam a alcançar operadores que atuam globalmente, perfil de muitos dos atores presentes no mercado brasileiro de SAE.

Como produtor de minerais críticos, o Brasil tem reservas de relevância global. Esse perfil cria uma oportunidade industrial concreta: à medida que mercados premium passam a pagar prêmio por minério com origem verificada, a rastreabilidade deixa de ser custo regulatório e passa a ser instrumento de captura de valor. Sem rastreabilidade verificável, mineral brasileiro tende a ser comercializado como commodity indiferenciada. Com ela, abre-se espaço para diferenciação competitiva e agregação de valor *downstream*.

As duas posições convergem em uma mesma agenda. Desenvolver uma cadeia rastreável e que atenda a padrões trabalhistas e socioambientais adequados é, para o Brasil, simultaneamente um trunfo humanitário e um trunfo econômico. Trunfo humanitário porque permite ao país honrar compromissos com seus próprios trabalhadores e com comunidades afetadas pela mineração, e exigir o mesmo padrão das cadeias de onde importa, evitando que sua transição energética seja construída sobre exploração humana em outras jurisdições. Trunfo econômico porque é a chave de acesso aos mercados que reconhecem e remuneram credibilidade socioambiental.

Cabe, contudo, uma ressalva: regulação e mecanismos de rastreabilidade mal calibrados podem produzir efeito oposto ao desejado, ao impor custos de conformidade desproporcionais a pequenos operadores e novos entrantes, empurrando atividades para canais informais e menos transparentes. Para que cumpra sua função, um sistema de rastreabilidade brasileiro deve ser proporcional ao porte e ao risco do operador, alinhar-se a padrões internacionais consolidados em vez de criar exigências paralelas, distribuir custos ao longo da cadeia em vez de concentrá-los no elo mais frágil, e manter foco na finalidade, identificando e mitigando riscos reais, não gerando conformidade burocrática.

A importância da rastreabilidade da origem dos minerais críticos na cadeia de suprimentos de baterias

A rastreabilidade da origem dos minerais críticos utilizados em SAEs, como lítio, cobalto, níquel e grafite, consolidou-se como um instrumento central para lidar com vulnerabilidades estruturais da cadeia global de baterias. Ao permitir a identificação dos elos *upstream* e das condições de extração e processamento, a rastreabilidade viabiliza a aplicação efetiva de mecanismos de due diligence e reduz o risco de incorporação, ao longo da cadeia, de insumos associados a violações de direitos humanos.

Esse aspecto é particularmente relevante diante de evidências amplamente documentadas de trabalho infantil, condições degradantes e exposição ocupacional a substâncias tóxicas em atividades de mineração artesanal, especialmente em jurisdições com baixa capacidade de fiscalização. Nesse contexto, a rastreabilidade deixa de ser um atributo reputacional e passa a ser um mecanismo operacional de controle de risco social e ambiental.

Simultaneamente, a rastreabilidade tornou-se requisito regulatório nos principais mercados consumidores. Instrumentos como a Regulação de Baterias da União Europeia e nos Estados

Unidos impõem obrigações de transparência sobre a origem dos minerais e responsabilizam empresas por violações ocorridas a montante da cadeia produtiva.

Para o Brasil, essa agenda assume caráter estratégico. Como importador de células para SAEs, a ausência de rastreabilidade expõe operadores a riscos jurídicos, contratuais e reputacionais, ao dificultar a verificação da integridade socioambiental das cadeias de fornecimento. Como produtor de minerais críticos, por outro lado, a rastreabilidade representa uma oportunidade de diferenciação competitiva: ao atender a padrões internacionais de transparência e sustentabilidade, o país pode acessar mercados mais exigentes e capturar maior valor agregado, evitando a comercialização de seus recursos como commodities indiferenciadas.

Assim, a implementação de sistemas de rastreabilidade no Brasil deve ser entendida não apenas como instrumento de conformidade regulatória, mas como vetor de mitigação de vulnerabilidades laborais e sociais, tanto globais quanto domésticas e, simultaneamente, como alavanca de inserção qualificada na cadeia internacional de baterias.

5 DESENVOLVIMENTO DA CADEIA PRODUTIVA NACIONAL

A acelerada difusão de SAEs ao redor do mundo coloca o Brasil diante de uma escolha estratégica. O país pode continuar a posicionar-se como consumidor de tecnologia importada, dependente de uma cadeia produtiva concentrada em poucos fornecedores externos, ou pode aproveitar a janela aberta pela transição energética para ocupar posições mais relevantes na cadeia global de baterias, da extração de minerais críticos ao refino, processamento e fabricação de componentes.

Este capítulo constrói o diagnóstico que sustenta essa escolha. Em um primeiro movimento, examina a vulnerabilidade estrutural da cadeia produtiva de baterias, hoje fortemente concentrada na China, e os riscos que essa configuração impõe a países importadores. Em seguida, descreve a posição brasileira nessa cadeia, identificando tanto os elos em que o país já dispõe de ativos relevantes, como reservas minerais, matriz elétrica limpa, base industrial em integração e montagem, quanto aqueles em que a dependência externa é crítica e tende a se aprofundar caso não haja ação deliberada.

Este capítulo, servirá como a poio para a formulação recomendações de política industrial, que serão tratadas adiante. A premissa subjacente é que a expansão dos SAEs no Brasil não pode ser tratada apenas como agenda de eletricidade. É também, e talvez sobretudo, agenda industrial e de soberania tecnológica e qualquer decisão de política pública sobre o tema depende de um diagnóstico claro do ponto de partida.

5.1 Vulnerabilidade da cadeia produtiva global

A cadeia produtiva de baterias é uma das mais geograficamente concentradas da economia global. Essa concentração não se manifesta de forma uniforme, mas se aprofunda à medida que se avança da extração mineral para etapas de maior valor agregado. Enquanto as reservas de minerais críticos como lítio, cobalto, níquel, grafita e terras-raras estão razoavelmente distribuídas entre Austrália, Chile, Indonésia, República Democrática do Congo, Brasil e outros países, o refino e o processamento desses minerais estão fortemente concentrados em um único polo: a China.

Segundo estudo *Global Critical Minerals Outlook 2025* da IEA [38], a China responde por aproximadamente dois terços do processamento global de minerais críticos para a transição energética, com participação ainda mais elevada em minerais específicos como grafita (98%), terras-raras (96%), lítio refinado (73%) e cobalto refinado (cerca de 97%).

Essa concentração se aprofunda nos elos seguintes da cadeia. Na fabricação de cátodos, ânodos, eletrólitos e separadores, componentes que respondem pela maior parte do custo de uma célula de bateria de íon-lítio, a participação chinesa supera 75% em todos os segmentos. Na produção de células de bateria propriamente dita, a China detém capacidade instalada superior à do resto do mundo somado. Para a química LFP (lítio-ferro-fosfato), que predomina nas baterias destinadas a sistemas estacionários de armazenamento, a concentração é ainda mais acentuada: praticamente toda a capacidade produtiva mundial de cátodos LFP encontra-se em território chinês.

A Figura 1 sintetiza essa configuração ao longo dos diferentes elos da cadeia, mostrando o padrão característico da concentração: a montante, a mineração apresenta diversificação geográfica relativa, com Austrália liderando a extração de lítio, Indonésia a de níquel, República Democrática do Congo a de cobalto, e a própria China a de grafita natural. À medida que se avança para o processamento de materiais e, sobretudo, para a fabricação de componentes de célula e de células de bateria, a participação chinesa torna-se dominante em todos os segmentos. O ponto crítico não é, portanto, a extração, onde o Brasil já dispõe de ativos relevantes, mas exatamente o miolo industrial da cadeia, onde se concentram simultaneamente o maior valor agregado e a maior dependência externa.

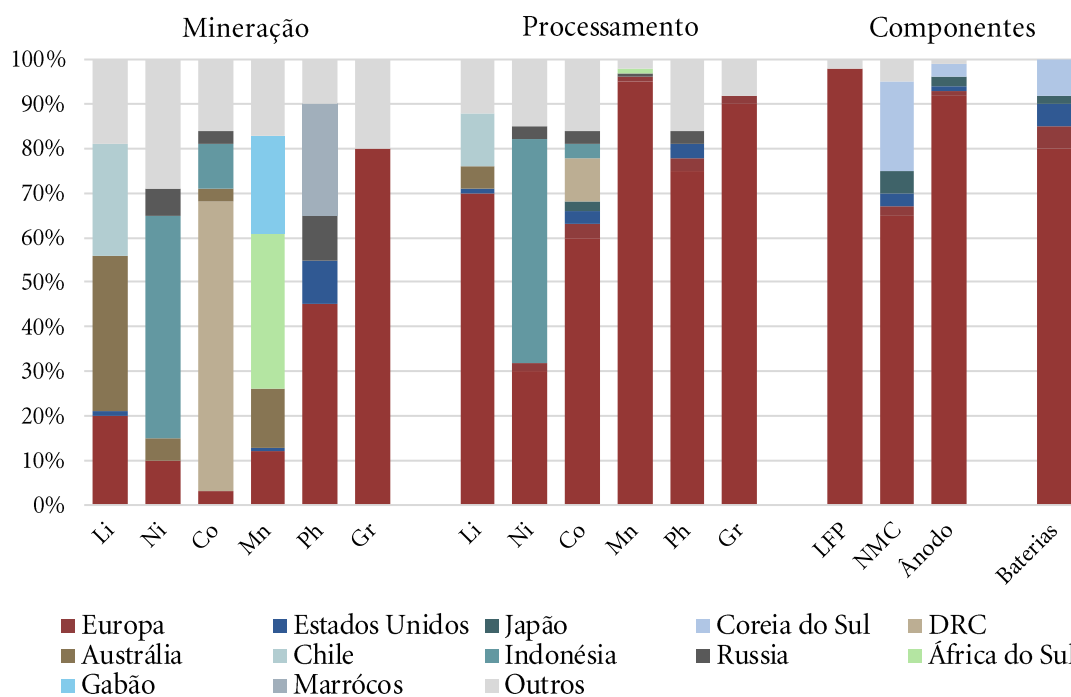


Figura 1 Distribuição geográfica da cadeia global de suprimento de baterias para carros elétricos e sistemas estacionários¹⁰; Fonte: Adaptado de IEA, 2025 [38]

Essa configuração não é resultado fortuito, reflete duas décadas de política industrial deliberada, articulando subsídios a investimento, integração vertical, garantia de demanda doméstica via expansão de veículos elétricos e sistemas de armazenamento, e controle estratégico de elos a montante por meio de investimentos diretos em mineração na África, Indonésia e América Latina. A consequência é que, embora outros países detenham reservas minerais relevantes, a capacidade de transformar esses minerais em produtos industrializados de alto valor agregado permanece confinada a um único polo geográfico.

¹⁰ Nota: Li = lítio; Ni = níquel; Co = cobalto; Mn = manganês; Ph = fosfato; Gr = grafite. No estágio de processamento, "Ph" refere-se a ácido fosfórico battery-grade e "Gr" a grafite battery-grade. Em componentes de célula, LFP (fosfato de ferro-lítio) e NMC (óxido de lítio-níquel-manganês) referem-se à produção de material catódico - NMC inclui todos os cátodos à base de níquel, como NCA (óxido de lítio-níquel-cobalto-alumínio); "Ânodo" refere-se à produção de material anódico. "Baterias" refere-se à fabricação de células. RDC = República Democrática do Congo.

As implicações estratégicas dessa concentração já se materializaram em episódios recentes. Em outubro de 2023, a China impôs restrições à exportação de grafita, insumo essencial para ânodos de bateria [39]. No mesmo período, controles foram estabelecidos para gálio e germânio, e, em 2024, para tecnologias de processamento de terras-raras. Cada um desses movimentos demonstrou a capacidade do polo concentrador de transformar posição industrial em instrumento geopolítico, com efeitos imediatos sobre preços, prazos de fornecimento e planejamento de capacidade nos países importadores.

5.2 Posição do Brasil na cadeia global

O Brasil ocupa, hoje, uma posição assimétrica na cadeia produtiva de baterias para SAEs. Tem presença forte nas duas pontas da cadeia, mineração e integração final, mas nas etapas intermediárias, onde se concentra o valor agregado e onde se manifesta a dependência crítica, está praticamente ausente [40]. Compreender essa configuração é o primeiro passo para discutir caminhos de desenvolvimento.

Na etapa de mineração, o Brasil detém reservas de relevância global em diversos minerais estratégicos para baterias aplicadas a SAEs. Destaca-se pela liderança absoluta em nióbio (mais de 90% das reservas globais), além de possuir participações expressivas em grafite, terras raras (a produção, no entanto, conta apenas com uma planta comercial, a mina de Serra Verde em Goiás [41]), minério de ferro e manganês, e posições relevantes em níquel e bauxita.

No caso do lítio, embora a participação nas reservas globais ainda seja mais modesta (em torno de 2%), observa-se dinamismo, a produção brasileira representou cerca de 10% do total mundial em 2024. Adicionalmente, há projetos relevantes em desenvolvimento, especialmente nos segmentos de lítio, níquel, grafite e terras raras, indicando potencial de expansão da oferta nacional.

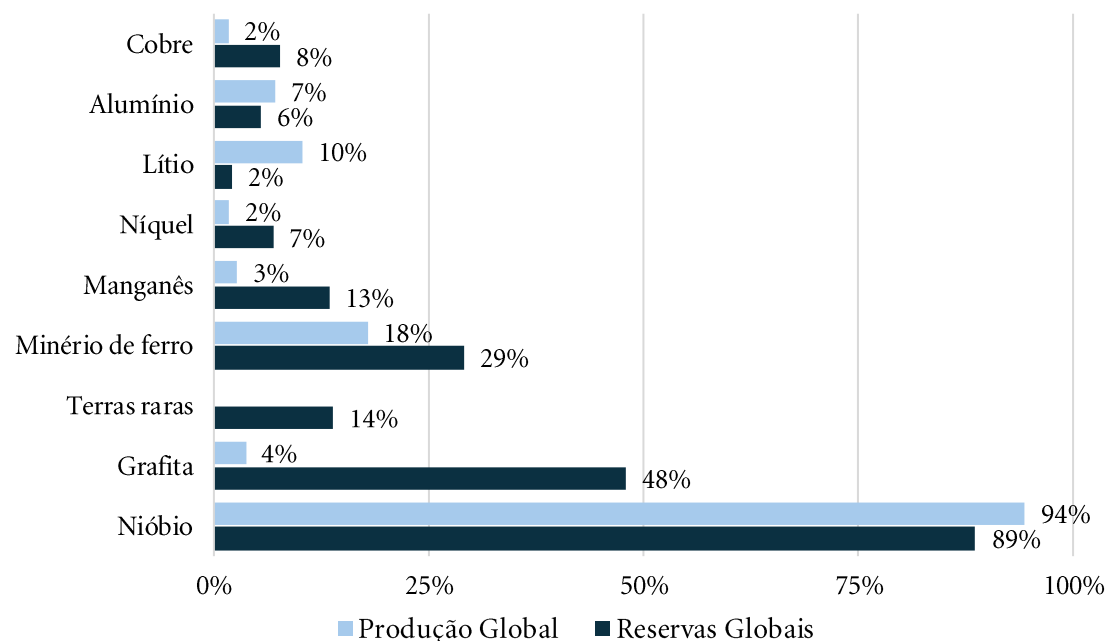


Figura 2 Participação do Brasil em reservas e produção globais de minerais críticos e estratégicos;
Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da Agência Nacional de Mineração, 2025 [42].

A combinação desse perfil mineral com uma matriz elétrica majoritariamente renovável confere ao Brasil uma posição de partida favorável no contexto da transição energética. Esse diferencial tende a ganhar peso à medida que mercados consumidores e cadeias industriais passam a valorizar minerais associados a menor intensidade de carbono e a padrões elevados de governança socioambiental, uma tendência já incorporada, em alguma medida, à regulação europeia e às discussões em torno de cadeias de suprimento nos Estados Unidos.

É no refino e no processamento, contudo, que o país apresenta gargalo significativo. O Brasil exporta concentrado mineral e importa produtos químicos de maior valor agregado: carbonato e hidróxido de lítio, sulfato de níquel, sulfato de cobalto, grafita esférica purificada e óxidos de terras-raras separados.

O Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) indica que, para diversos minerais críticos e estratégicos, as etapas intermediárias da cadeia de valor (*midstream*) no Brasil ainda apresentam baixo grau de maturidade tecnológica, situando-se predominantemente entre os estágios de prova de conceito e escala piloto [43]. Esse diagnóstico evidencia um gargalo estrutural no adensamento produtivo, no qual a capacidade nacional permanece concentrada nas etapas de extração (*upstream*), com limitada internalização de processos de refino, transformação e manufatura. Diante desse quadro, o estudo recomenda a priorização de investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), capacitação de mão de obra e infraestrutura, como condições necessárias para elevar a maturidade tecnológica dessas etapas e viabilizar a inserção competitiva do país nos segmentos de maior valor agregado da cadeia mineral.

Esse gap tem três consequências articuladas. Primeiro, o Brasil captura uma fração desproporcionalmente pequena do valor da cadeia: o concentrado mineral exportado vale uma fração do produto químico processado que retorna importado. Segundo, a soberania mineral brasileira é parcial, ter reservas e produção de minério não significa, na prática, controlar o suprimento, porque o controle se exerce nas etapas de refino que estão fora do país. Terceiro, perde-se a oportunidade de aproveitar a vantagem da matriz elétrica limpa em rotas químicas energo-intensivas, justamente onde esse diferencial seria mais valioso.

Na fabricação de componentes de bateria, cátodos, ânodos, eletrólitos, separadores e células propriamente ditas, o Brasil tem presença ainda mais limitada. Algumas iniciativas merecem destaque, como a fábrica de ânodo à base de nióbio inaugurada pela CBMM em Minas Gerais em 2024, com capacidade prevista de 2 mil toneladas até 2027 e equivalentes a 1 GWh de células de íons de lítio [44]. Mas essas iniciativas, embora relevantes, não se traduzem ainda em uma cadeia nacional de fabricação de componentes capaz de atender ao crescimento esperado da demanda doméstica por SAEs, muito menos posicionar o país como exportador.

A ausência de fabricação local de componentes significa que, mesmo nos cenários em que o refino mineral fosse desenvolvido no Brasil, o país continuaria dependente da importação de cátodos, ânodos e células para integrar suas próprias baterias. A cadeia ficaria interrompida em seu elo mais valioso.

Na ponta final da cadeia, o Brasil dispõe de capacidade industrial em segmentos correlatos: fabricantes nacionais de inversores e equipamentos eletroeletrônicos (como a WEG),

fabricantes históricos de baterias automotivas e estacionárias (como a Moura), integradores de sistemas e operadores que executam projetos completos de SAE no mercado brasileiro. No entanto, o componente mais valioso e tecnologicamente sofisticado, o módulo de bateria pronto, com células fabricadas no exterior, é importado.

O quadro geral pode ser sintetizado em uma análise: o Brasil exporta concentrado mineral e importa o equipamento completo, ficando com uma fatia mínima do valor da cadeia. Há, portanto, uma assimetria entre o potencial econômico e perfil geológico e o grau de industrialização, um gargalo que compromete tanto a segurança mineral quanto a soberania econômica do país. Aplicada à cadeia de SAE, essa assimetria implica que a expansão dos sistemas de armazenamento no mercado brasileiro está, hoje, financiando indiretamente a consolidação de cadeias industriais em outros países, em vez de estimular o desenvolvimento de capacidade produtiva nacional.

Essa condição se insere em um movimento em que o BNDES vem condicionando o acesso a financiamentos incentivados para projetos de SAE ao cumprimento de exigências progressivas de conteúdo local, em desenho que combina aumento gradual dos índices mínimos com incentivo seletivo a baterias de maior nacionalização. Trata-se de um instrumento legítimo e alinhado às melhores práticas internacionais de indução industrial, que sinaliza ao mercado uma trajetória de longo prazo e cria pressão útil sobre integradores e fornecedores. Sua eficácia, contudo, depende da articulação com instrumentos voltados a desenvolver diretamente, a capacidade tecnológica e industrial nacional necessária para atendê-lo. Sem políticas industriais complementares, o esforço de indução tende a reduzir seu potencial de indução ao desenvolvimento da cadeia interna.

O cronograma de exigência de Conteúdo Local do BNDES

O Regulamento Setorial para o credenciamento de Sistemas Estacionários de Armazenamento de Energia no âmbito do Credenciamento Finame (CFI) do BNDES estabelece os requisitos que um SAE precisa cumprir para ser elegível ao financiamento incentivado [45]. O desenho articula dois indicadores complementares e uma classificação específica para baterias.

- **Índice de Conteúdo Local (IC)** - mede o valor agregado nacional incorporado ao produto. Calculado em conformidade com a regra geral do Regulamento do CFI.
- **Índice de Etapas Produtivas (IEP)** - mede a participação de etapas industriais executadas em território nacional, com foco em processo e não em valor.

Os dois indicadores precisam ser atendidos simultaneamente. A lógica de utilizar dois indicadores é evitar que a exigência seja cumprida apenas por uma das vias, por exemplo, agregando valor nacional sem realizar etapas produtivas relevantes no país, ou vice-versa.

Para fins de credenciamento, o SAE em baterias é decomposto em oito componentes:

- Pack de baterias (estratégico);
- Energy Management System - EMS (estratégico);

- Software/firmware do EMS (estratégico);
- Inversor (PCS);
- Sistema de climatização;
- Estrutura (invólucro);
- Elementos elétricos (painéis, transformador, cabeamento);
- Sistema de detecção e combate a incêndio.

Pack de baterias, EMS e software/firmware do EMS são classificados como componentes estratégicos, ou seja, recebem peso diferenciado nas rotas de credenciamento, refletindo seu papel central no valor agregado e na sofisticação tecnológica do sistema.

As baterias estacionárias são classificadas pelo Regulamento de Atribuição Seletiva de Conteúdo Local (ASCL) em quatro níveis crescentes de nacionalização:

Nível	IC mínimo da bateria
BA.1	10%
BA.2	30%
BA.3	70%
BA.4	100%

Essa classificação opera como um instrumento à parte, paralelo aos índices IEP e IC do sistema como um todo. Quanto maior a classificação da bateria utilizada, mais flexível o regime aplicado ao SAE premiando, na prática, projetos que antecipam voluntariamente a internalização do componente mais valioso da cadeia.

Ademais, o programa é dividido em três etapas:

	Etapa 1 até 31/12/2027	Etapa 2 01/01/2028 até 31/12/2030	Etapa 3 a partir de 01/01/2031
Rotas de credenciamento	4 rotas	3 rotas	Rota única
IEP mínimo	15%	25%	30%
IC mínimo	15%	25%	45%
Exigência específica para bateria	uso de bateria BA.3 ou BA.4 dispensa IEP/IC mínimos.	uso de bateria BA.4 dispensa IEP/IC mínimos	bateria BA.4 obrigatória, acompanhada de 3 outros componentes credenciados

A montagem do SAE em território nacional é obrigatória em todas as etapas, independentemente da rota escolhida.

O cronograma combina três mecanismos que operam de forma articulada:

- I. Os índices mínimos de IEP e IC crescem ao longo do tempo, sinalizando uma trajetória previsível de adensamento industrial;
- II. Em cada etapa, o uso de baterias com classificação superior funciona como rota alternativa, dispensando o cumprimento dos índices mínimos do sistema, incentivo à nacionalização do componente estratégico de maior valor;
- III. A Etapa 3 fecha o ciclo ao tornar obrigatório o uso de bateria BA.4 (100% de ASCL) acompanhada de outros componentes credenciados, consolidando o salto de patamar no longo prazo.

A calibração mostra preocupação técnica em não tratar todos os componentes como equivalentes: ao premiar antecipadamente o esforço de internalizar o *pack* de baterias, o regulamento concentra o estímulo no elo mais valioso da cadeia, e não em etapas de menor sofisticação.

Apesar das vulnerabilidades descritas, o cenário brasileiro não é irreversível. O país dispõe de ativos concretos capazes de sustentar um movimento de maior escala, desde que articulados a uma política industrial consistente: reservas minerais de classe mundial, matriz elétrica majoritariamente renovável, capacidade industrial pré-existente em segmentos correlatos como química, metalurgia e eletrônica de potência, instituições relevantes de pesquisa aplicada (SENAI, EMBRAPPI e universidades) e um ambiente institucional relativamente estável, favorável a investimentos de longo prazo. O cronograma de conteúdo local do BNDES é uma peça desse esforço, mas é insuficiente isoladamente, atua sobre a demanda, e precisa de instrumentos paralelos voltados ao desenvolvimento da oferta industrial doméstica.

A questão prática é, portanto, como articular esses ativos e instrumentos em uma estratégia coerente, capaz de produzir resultados em prazo compatível com a janela aberta pela transição energética e pela busca de diversificação de cadeias por parte de mercados consumidores como União Europeia, Estados Unidos, Coreia e Japão. A próxima seção propõe um conjunto de recomendações priorizadas com esse objetivo.

6 RECOMENDAÇÕES GERAIS

Ao longo do presente relatório, foi documentado o potencial transformador significativo para o desenvolvimento socioeconômico de comunidades brasileiras, em especial aquelas em situação de vulnerabilidade ou pobreza energética. Destacam-se, nesse contexto, as comunidades isoladas da Amazônia Legal, as populações ribeirinhas, os povos indígenas e os territórios periféricos urbanos.

Esse potencial se manifesta em múltiplas dimensões, conforme avaliado: geração de renda e fortalecimento das atividades produtivas locais, ampliação do acesso a serviços essenciais de saúde e educação, formação de capital humano e empoderamento das comunidades.

No entanto, a análise das políticas públicas e dos programas vigentes que perseguem essas dimensões revela que os benefícios acabam sendo atingidos por meio de um conjunto pulverizado de ações e programas que operam de forma fragmentada, frequentemente sem articulação entre si e sem mecanismos que garantam a distribuição equitativa dos benefícios gerados.

[As experiências internacionais analisadas no âmbito deste projeto](#) demonstram que diferentes países apresentam avanços relevantes na integração consistente dos SAE aos objetivos sociais. Isso é realizado por meio, principalmente, de marcos regulatórios claros, alinhamento entre diferentes políticas de incentivo, instrumentos de financiamento adaptados aos diferentes contextos e escalas, e mecanismos explícitos de mensuração e distribuição de valor social.

Essas lições, combinadas com os aprendizados obtidos nas iniciativas brasileiras aqui documentadas, oferecem conjunto robusto de referências para orientar os aprimoramentos necessários. É nesse sentido que se apresentam as recomendações a seguir.

Para abranger o complexo escopo de aprimoramentos recomendados, os pontos abordados foram segregados em dois principais blocos. O primeiro deles apresenta propostas direcionadas a instrumentos concretos, endereçando políticas públicas específicas. O segundo bloco, por sua vez, diz respeito a recomendações transversais, isto é, práticas habilitadoras que se definem instrumentos metodológicos e de monitoramento que se aplicam ao conjunto de políticas e programas, independentemente de seu escopo específico. Inclusive, estas recomendações podem ser aplicadas a padrões de conduta em geral, inclusive para o setor privado, instituições e sociedade civil.

6.1 Bloco I – Direcionamentos Concretos

6.1.1 Aprimoramentos ao Luz para Todos

Atualmente, o Programa Luz para Todos constitui o principal instrumento de inclusão energética no Brasil, com um histórico de impacto inegável. No entanto, experiências documentadas ao longo do projeto evidenciam lacunas estruturais que limitam o potencial do programa de se converter em instrumento pleno de desenvolvimento socioeconômico, concentradas principalmente no dimensionamento dos sistemas instalados, o engajamento comunitário e ações pós-implantação.

Um aprimoramento sugerido para o dimensionamento dos sistemas implementados é a revisão nos critérios utilizados para essa definição. Atualmente, o modelo adotado para dimensionamento dos sistemas instalados no âmbito do programa tem como base informações muitas vezes desatualizadas sobre o perfil de consumo das comunidades, sem considerar a demanda de infraestruturas coletivas nem usos produtivos que a energia poderia viabilizar. Essa limitação cria um paradoxo em que o programa leva eletricidade a comunidades que historicamente careciam dela, mas não dimensiona os sistemas de forma que essa energia seja suficiente para acompanhar as transformações econômicas que a população deseja.

Outro fator relevante no processo de dimensionamento diz respeito a necessidade de se considerar a demanda reprimida na região. Com o acesso à energia, a tendência de aumento da carga também deve ser levada em consideração, inclusive pelo aumento populacional devido ao aumento da atratividade da região. O dimensionamento a partir de um mapeamento participativo das demandas energéticas locais, e que inclua não apenas o consumo doméstico, mas também as atividades produtivas, serviços públicos e perspectivas de desenvolvimento econômico, resultam em sistemas que melhor calibram as necessidades reais, com impactos socioeconômicos mais expressivos.

Complementa esse ponto a possibilidade de ampliar o escopo do programa para contemplar, também, o atendimento de infraestrutura coletiva de interesse comunitário. Centros comunitários, que são frequentemente os principais espaços de organização social e cultural das comunidades atendidas, acabam sendo negligenciadas pelo programa. Essa lacuna representa oportunidade relevante de aprimoramento no impacto socioeconômico do Luz para Todos.

Obs: Durante a execução deste trabalho houve a publicação do Decreto nº 12.964, de 8 de maio de 2026, que moderniza o Luz para Todos, de forma diretamente alinhada às recomendações deste relatório. Entre as principais mudanças, o decreto cria um capítulo específico voltado ao uso produtivo da energia — reconhecendo formalmente que a eletrificação rural não é apenas para consumo doméstico, mas instrumento de geração de renda. O novo texto também amplia o escopo do programa para incluir infraestruturas coletivas como cozinhas comunitárias, câmaras frias, sistemas de abastecimento de água e conectividade digital, corrigindo a lacuna de cobertura de espaços comunitários apontada acima. Adicionalmente, o decreto incorpora critérios sociais mais rigorosos de priorização (famílias chefiadas por mulheres inscritas no CadÚnico, pessoas com deficiência, idosos dependentes e povos tradicionais) e prorroga os prazos de execução até dezembro de 2028. O MME deverá revisar o Manual de Operacionalização do programa em até 180 dias de sua publicação. Esses avanços são bem-vindos e convergentes com o diagnóstico do projeto; o desafio que permanece é garantir que o dimensionamento participativo, o engajamento comunitário e a logística reversa se consolidem na operacionalização efetiva dos contratos.

O exemplo reforça, ainda, a necessidade de estabelecer o engajamento comunitário como requisito exigido para a implementação do atendimento de energia por meio do Luz para Todos. Modelos que tratam as comunidades como destinatárias passivas de infraestrutura, e não como protagonistas do processo, são ineficientes em extrair o maior potencial das

ferramentas adotadas. Para isso, deve-se responsabilizar as distribuidoras pela inclusão de diagnóstico participativo, capacitação técnica, apoio à criação e manutenção de fundos comunitários e regimentos de gestão, além de outras atividades voltadas para centralizar o papel da sociedade.

O programa pode, portanto, alavancar sua presença por meio de ampliação de seu escopo para abarcar essas infraestruturas coletivas, direcionadas aos interesses específicos de cada comunidade. A mobilização dessa população desenvolve, ainda, maior interesse no sucesso desses desenvolvimentos. Nesse contexto, o engajamento populacional passa a impulsionar, também, o fortalecimento da logística reversa dos materiais utilizados nas soluções de suprimento, que deve ser tida como responsabilidade explícita da distribuidora.

6.1.2 Marco regulatório para Comunidades Energéticas

O conceito de comunidades energéticas, conforme definido anteriormente, tem ganhado crescente relevância no debate sobre transição energética, tanto no mundo quanto especificamente no Brasil. Experiências analisadas demonstram potencial concreto desses modelos em contextos urbanos, rurais e indígenas, promovendo redução de custos com eletricidade e aumento da qualidade de vida.

Apesar da ausência de definição legal específica não ser barreira intransponível para o aproveitamento das benesses desse modelo, a instituição desse marco através de articulação entre o poder Executivo e o Congresso promoveria redução de incertezas na aplicação do conceito frente diferentes contextos presentes no vasto território brasileiro.

É importante que esse marco estabeleça, portanto, definição legal com critérios mínimos de participação cidadã e distribuição de benefícios, acesso não discriminatório à rede elétrica e regime simplificado para licenciamento de projetos de pequeno porte, entre outras diretrizes relevantes. Essas definições evitam também que o conceito seja explorado e aplicado de forma inadequada, assegurando que os benefícios desse arranjo não serão alocados de forma inconsequente.

Nesse sentido, cabe destacar que o estabelecimento do acesso não discriminatório à rede elétrica deverá buscar, necessariamente, harmonizar o modelo de comunidades energéticas com o monopólio territorial das distribuidoras, questão que precisa ser endereçada de forma explícita. Para sistemas isolados, o caminho é o reconhecimento e incentivo a modelos off-grid comunitários. Para áreas conectadas à rede, o marco deve garantir que as distribuidoras viabilizem o compartilhamento de energia dentro das comunidades, sem substituir a infraestrutura de fios ou bloquear as iniciativas por proteção de território.

A título de exemplo, o Projeto de Lei nº 3.798/2024 é uma iniciativa legislativa, que na presente data (maio de 2026) se encontra na Comissão de Minas e Energia da Câmara dos Deputados, que busca estabelecer diretrizes para a formação, operação e incentivo na promoção da geração descentralizada de energia renovável e a autossuficiência energética local. Dentre os dispositivos do projeto, está a definição de Comunidade Energética e como se dá o uso da rede da distribuidora pela mesma (caso a rede esteja disponível) e o tratamento dado a energia gerada que exceda o consumo da comunidade.

Adicionalmente, cabe destacar a possibilidade de integração desse marco legal às demais estratégias de descarbonização da Amazônia Legal e de redução da vulnerabilidade e pobreza energética já implementados no país. Dentre eles, cabe destacar como potenciais mecanismos com sinergia o PERS e o CGPAL, além de projetos de P&D da ANEEL e o *sandbox* Energias da Floresta¹¹.

6.1.3 Aprimoramentos aos mecanismos de financiamento

O financiamento constitui, historicamente, um ponto de grande relevância para a implementação de projetos de energia. Apesar do conjunto de mecanismos existentes no Brasil para projetos de energia renovável e transição energética, incluindo o FINEM do BNDES, o Fundo Clima, o FNE Verde e os recursos de Pesquisa e Desenvolvimento obrigatórios das distribuidoras, ainda cabe levantar questões quanto a adequação desses modelos a implantação de projetos de SAE.

Em especial, destacam-se duas questões prioritárias. A primeira delas diz respeito à exigência do BNDES de requisito mínimo de conteúdo local como condição de financiamento. A lógica de condicionar o financiamento público ao uso de componentes fabricados no Brasil busca estimular o desenvolvimento de uma cadeia produtiva nacional de equipamentos de energia renovável e armazenamento.

No entanto, enquanto a cadeia produtiva nacional de baterias não alcança escala e competitividade suficientes para atender às necessidades sistêmicas, o que ainda demandará tempo, a exigência do conteúdo local apresenta barreira relevante ao desenvolvimento desses projetos. Consequentemente, as benesses da implantação desses projetos não são sentidas pela população. A superação dessa barreira se mostra de grande relevância para o incentivo ao desenvolvimento de modelos de negócio para exploração das baterias.

A flexibilização dessa condição, especificamente para projetos de bateria, se mostra de grande relevância para o desenvolvimento da tecnologia no Brasil, considerando o contexto atual da cadeia produtiva nacional ainda incipiente.

A segunda questão relevante é dor sentida, especialmente, por projetos de caráter social, e diz respeito a necessidade de volumes mínimos para a viabilização de muitas das linhas de financiamento comentadas. Isso se dá, pois, esses instrumentos foram concebidos, em sua maioria, para projetos de médio e grande porte. Existe, portanto, uma assimetria entre os instrumentos disponíveis e as necessidades dos projetos de maior impacto social.

Essa lacuna de política pública pode ser corrigida por meio de ajustes deliberados nos instrumentos existentes ou da criação de mecanismos complementares específicos. O país carece, portanto, de desenvolvimento de linhas de microcrédito, que incentivem projetos de

¹¹ O *sandbox* Energias da Floresta é uma iniciativa da ANEEL voltada para testar soluções inovadoras de acesso à energia em comunidades da Amazônia Legal. Ela está sendo elaborada para funcionar como um ambiente de experimentação regulatória, permitindo que empresas e organizações desenvolvam projetos-piloto para ampliar o fornecimento sustentável de energia, respeitando individualidades culturais das populações locais, para criação de políticas e modelos mais eficientes.

menor porte que atendam às necessidades socioeconômicas de regiões energeticamente vulneráveis.

6.1.4 Aprimoramentos para a cadeia produtiva nacional

A discussão até aqui mostrou que o Brasil tem ativos relevantes na cadeia produtiva de baterias, mas os concentra nas pontas, mineração e integração final, enquanto os elos intermediários, onde se acumula valor e se exerce o controle do suprimento, permanecem em estágio incipiente. Diante desse quadro, a estratégia realista para o país, neste primeiro momento, é direcionar o esforço para reduzir a dependência externa nos pontos onde o Brasil tem condição efetiva de avançar. Isso significa: identificar elos onde reservas minerais, base industrial preexistente e custo da dependência externa justificam a internalização, e mobilizar instrumentos de política pública sobre esses elos com prioridade explícita.

O primeiro ponto é tratar o refino como prioridade explícita de política industrial. O refino e o processamento intermediário são, simultaneamente, o ponto onde a vulnerabilidade brasileira é maior e onde existe a melhor combinação entre ativos disponíveis, reservas minerais e matriz elétrica limpa; e o custo da inação é traduzido na dependência crescente de produtos químicos importados a preços determinados externamente. Em vez de tratar essas etapas como consequência natural da expansão minerária, a política industrial precisa elegê-las explicitamente como prioridade. Na prática, isso exige três frentes articuladas:

- I. A primeira é a sinalização institucional, tornando o refino prioridade explícita nas discussões em curso sobre minerais críticos, incluindo o debate em torno do PL 2.780/2024, que pretende instituir uma Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos, com metas e cronograma específicos;
- II. A segunda passa pelo sistema financeiro de fomento, que precisa refletir essa prioridade, com linhas BNDES e debêntures incentivadas dedicadas ao refino e ao processamento, em condições mais favoráveis que as oferecidas a projetos puramente extrativos, invertendo o sinal econômico que hoje favorece a exportação de concentrado; e
- III. A terceira pertence à política externa e costuma ser subestimada: o acesso às reservas minerais brasileiras é o principal ativo de barganha do país nesse jogo e pode ser estruturado como contrapartida em acordos de transferência tecnológica e parcerias industriais com países que detêm o conhecimento que falta no Brasil.

Na fabricação de componentes, a escolha estratégica é entre dispersar recursos em tentativas de cobrir toda a cadeia ou concentrá-los em segmentos com chance real de competitividade. A segunda opção é a mais realista, e os critérios de seleção devem ser explícitos: existência de reservas minerais relevantes que ofereçam vantagem de custo de matéria-prima; menor exigência de escala mínima para viabilidade econômica; e custo elevado da dependência externa em caso de interrupção de fornecimento. Aplicando esses critérios, ânodos à base de nióbio, já em implementação pela CBMM em Minas Gerais, grafita esférica purificada e magnetos de terras-raras emergem como candidatos mais defensáveis do que a tentativa de produzir células LFP em escala competitiva com a China.

Ademais, a abordagem proposta pelo IBRAM no estudo Minerais Críticos e Estratégicos no Brasil [43], baseada em plantas flexíveis de pequeno e médio porte ancoradas em P&D aplicado, é mais compatível com esse perfil do que tentativas de replicar megaplantas asiáticas. Instrumentos como EMBRAPPII, SENAI Inovação e FINEP devem ser mobilizados de forma articulada para reduzir riscos tecnológicos em plantas-piloto e acelerar a transição da pesquisa aplicada para a escala industrial. Sem esse esforço coordenado, a inserção brasileira tende a permanecer restrita a etapas de menor valor agregado.

A identificação desses nichos é também a chave para que a exigência de conteúdo local funcione como instrumento de desenvolvimento, e não apenas como barreira regulatória. Quando o cronograma de conteúdo local opera de forma agregada sobre o sistema como um todo, sem distinguir entre componentes em que o Brasil tem oportunidade real de desenvolver fornecedor competitivo e componentes em que essa possibilidade é remota, dois efeitos indesejáveis tendem a se manifestar. De um lado, o cumprimento das exigências se concentra nas etapas de menor valor agregado, montagem, estrutura, climatização, justamente por serem as mais fáceis de internalizar, ainda que sejam as menos transformadoras do ponto de vista industrial. De outro, projetos podem se tornar economicamente inviáveis quando o componente exigido como nacional não existe em escala competitiva no país, sem perspectiva razoável de que venha a existir no prazo do credenciamento.

A articulação produtiva entre o mapa de nichos e o cronograma de conteúdo local passa por aplicar este último de forma seletiva sobre os segmentos identificados como prioritários, aqueles em que reservas minerais, base industrial preexistente e custo da dependência externa justificam o esforço de internalização. Para esses componentes específicos, pack de baterias, EMS, ânodos de nióbio, grafita esférica purificada, magnetos de terras-raras, faz sentido que as exigências sejam mais ambiciosas e acompanhadas de instrumentos paralelos de fomento à oferta. Para componentes fora desse mapa, faz sentido manter exigências mais flexíveis, evitando encarecer sistemas inteiros pela tentativa de internalizar eles em que o Brasil não tem vantagem comparativa.

A classificação de Atribuição Seletiva de Conteúdo Local (ASCL) das baterias e o tratamento diferenciado dado aos componentes estratégicos no atual regulamento já incorporam essa lógica de seletividade. O passo seguinte é estendê-la para a articulação com a política industrial mais ampla, de modo que a exigência regulatória e o esforço de fomento à oferta convirjam sobre os mesmos nichos, no mesmo ritmo. Em outras palavras, o que se exige nacionalizar e aquilo para o qual efetivamente se constroem condições de nacionalização precisam ser o mesmo conjunto.

A ponta final da cadeia, integração de sistemas e montagem de módulos, é o segmento mais acessível no curto prazo, com base instalada em fabricantes como Moura e WEG e em integradores como a Micropower. Fortalecer essa capacidade tem dois méritos imediatos: gera empregos qualificados em volume relevante e cria uma base sobre a qual a internalização progressiva de componentes pode se apoiar. O risco a evitar é transformar a integração nacional em mera reserva de mercado, situação em que integradores brasileiros operam protegidos da concorrência externa, mas continuam dependendo integralmente de componentes importados. Essa configuração reproduz a estrutura atual da cadeia sem alterá-la, apenas redistribuindo

margens entre atores domésticos. A integração só cumpre seu papel estruturante se vier acompanhada de exigências progressivas de internalização dos componentes a montante, o que remete diretamente à articulação descrita anteriormente.

Por fim, há uma dimensão temporal que precisa ser explicitada sem excesso de otimismo. A janela para o Brasil entrar com algum peso na cadeia produtiva de SAE existe nos próximos cinco a dez anos, mas é estreita e não garante resultados. O crescimento acelerado da demanda global por baterias e a busca por diversificação de fornecedores por parte de União Europeia, Estados Unidos, Coreia e Japão criam alguma abertura para novos entrantes. Essa abertura, porém, não é uma oportunidade passiva: trata-se de uma janela competitiva já disputada por dezenas de países com histórico industrial, capacidade tecnológica e velocidade de decisão política superiores aos do Brasil. O atraso não se resolve com entusiasmo; requer execução consistente ao longo de anos.

6.1.5 Aprimoramentos aos Leilões de Sistemas Isolados

Os Leilões de Sistemas Isolados são o principal mecanismo de contratação de soluções de suprimento para as comunidades da Amazônia Legal não conectadas ao SIN. Por décadas, o suprimento dessas localidades dependeu quase exclusivamente de geradores a diesel. A edição mais recente do certame, entretanto, representou um avanço relevante nesse quadro.

A participação de fontes renováveis e baterias nas soluções de suprimento para atendimento a esses sistemas foi impulsionada por mudanças nas diretrizes do leilão que incluíram a obrigatoriedade de que 22% da geração da solução seja de fonte renovável e o estabelecimento de uma bonificação na competitividade por emissões evitadas. Essa mudança criou incentivos concretos para a incorporação de sistemas fotovoltaicos com armazenamento em bateria como componentes das soluções híbridas contratadas, reduzindo a dependência do diesel e melhorando a qualidade e a continuidade do fornecimento.

No entanto, o potencial do instrumento vai além da descarbonização do suprimento. As comunidades que passam a ser atendidas pelas soluções vencedoras recebem oportunidade para o desenvolvimento socioeconômico da região, explorando os diversos benefícios associados ao fornecimento de energia com qualidade e confiabilidade, conforme elencado ao longo do relatório. Entretanto, essa oportunidade não se realiza de forma espontânea, mas requer requisitos explícitos que orientem as empresas vencedoras a investir no desenvolvimento das comunidades em que estão presentes.

A incorporação de critérios sociais nos editais apresenta, nesse contexto, um aprimoramento de natureza estrutural. A competitividade das propostas poderia ser parcialmente atrelada ao planejamento de iniciativas de capacitação técnicas e de contratação de mão de obra local, com metas verificáveis ao longo do contrato.

Adicionalmente, cabe ressaltar que a referência atual de requisito mínimo de renovabilidade das soluções de suprimento vem sendo amplamente questionada por especialistas e organizações da sociedade civil como insuficiente. Nesse contexto, o aumento deste valor base traria impactos positivos à saúde e qualidade de vida da população local, por meio da redução do uso de térmicas a diesel. Os impactos positivos dessa trajetória iriam além da redução de emissões: a

substituição do diesel por fontes renováveis com armazenamento melhora a qualidade do ar nas comunidades atendidas, reduz a exposição da população local a ruídos e poluentes associados à operação de geradores, e elimina os riscos de contaminação do solo e de cursos d'água por derramamento de combustível durante o transporte e o armazenamento.

Outra forma de potencializar a redução de impactos ambientais – e seus consequentes impactos sociais – os contratos poderiam incluir obrigações de monitoramento e reporte periódico dos impactos socioambientais da operação. Para além de indicadores operativos, a gestão de resíduos, geração de ruído, capacitação técnica, impactos à saúde da população local, entre outras métricas podem ser adotadas para o dimensionamento desses impactos.

6.2 Bloco II – Recomendações Transversais

Além das recomendações específicas por programa ou política pública, a análise das experiências documentadas ao longo do projeto aponta para um conjunto de diretrizes que deveriam orientar a maximização dos impactos socioeconômicos dos projetos de SAE no país. Essas diretrizes estão, muitas vezes, presentes em diferentes boas práticas identificadas. Esses pontos devem ser considerados na avaliação do potencial dos sistemas de armazenamento. Cabe destacar, entretanto, que esse levantamento não é exaustivo, mas um primeiro direcionamento para como esses mecanismos devem ser pensados.

6.2.1 Territorialização das políticas

A pobreza e a vulnerabilidade energética não se manifestam de forma homogênea no território brasileiro. Como demonstrado ao longo deste relatório, suas expressões variam de maneira significativa em função de características geográficas, climáticas, culturais e socioeconômicas de cada região. A ausência de acesso à rede elétrica em comunidades ribeirinhas e indígenas da Amazônia Legal coloca desafios radicalmente distintos dos que enfrentam famílias em favelas urbanas com ligações irregulares e contas de energia que comprometem parcela expressiva da renda. Essa heterogeneidade não é apenas descritiva, mas tem implicações diretas para o desenho de políticas públicas eficazes.

Soluções padronizadas, aplicadas de forma uniforme sobre realidades distintas, tendem a produzir resultados aquém do potencial. A territorialização das políticas não significa, contudo, a ausência de diretrizes nacionais ou a fragmentação dos instrumentos em soluções ad hoc para cada localidade. Significa, antes, a construção de marcos regulatórios e contratuais que estabeleçam princípios e requisitos mínimos aplicáveis em todo o território, mas que reservem espaço suficiente para que a implementação seja adaptada às especificidades locais. O diagnóstico participativo como etapa obrigatória antes da definição da solução técnica é um exemplo concreto dessa lógica, que a solução escolhida seja informada pelas demandas, prioridades e capacidades reais da comunidade beneficiada.

O papel da sociedade civil organizada é central nesse processo. As comunidades que serão impactadas por políticas de expansão dos SAE não são objetos passivos de intervenção externa, mas agentes com conhecimento acumulado sobre suas próprias necessidades, dinâmicas e potencialidades. Iniciativas construídas com a participação ativa das comunidades tendem a ser

mais bem calibradas às necessidades locais, mais sustentáveis no longo prazo e mais capazes de mobilizar o engajamento coletivo necessário para sua gestão continuada. Isso requer, contudo, que os processos de consulta e participação sejam genuínos, e não meramente formais, realizados como etapa burocrática após as decisões técnicas já terem sido tomadas.

O fortalecimento do ecossistema de atores que operam na interface entre política energética e desenvolvimento comunitário é, nesse contexto, uma condição estrutural para o sucesso das iniciativas de maior impacto. As experiências analisadas ao longo deste relatório são consistentes ao demonstrar que os projetos com resultados mais expressivos não foram realizados por um único agente, mas por meio de parcerias que combinaram competências complementares entre organizações da sociedade civil com enraizamento territorial e capacidade de mobilização comunitária; institutos federais de educação e centros de pesquisa com expertise técnica em sistemas de energia; empresas de tecnologia com capacidade de desenvolver e adaptar soluções; distribuidoras e operadores com acesso à infraestrutura de rede; e organismos de financiamento com capacidade de estruturar os mecanismos de viabilização econômica dos projetos.

Nenhum desses atores, isoladamente, reúne todas as competências necessárias para desenvolver iniciativas que sejam ao mesmo tempo tecnicamente robustas, financeiramente viáveis e socialmente enraizadas. Esse reconhecimento tem implicações diretas para o desenho dos instrumentos de política pública.

6.2.2 Práticas de economia circular

A expansão da implementação de baterias coloca em perspectiva uma questão ainda insuficientemente incorporada ao debate público brasileiro: o que acontece com as baterias quando chegam ao final de sua vida útil? Trata-se de uma pergunta com urgência temporal clara, ainda que seus efeitos não sejam imediatamente visíveis.

Nesse contexto, economia circular oferece o referencial conceitual mais adequado para pensar essa questão. Diferentemente do modelo linear tradicional, no qual os produtos são fabricados, utilizados e descartados, a economia circular propõe que os materiais permaneçam em ciclos produtivos pelo maior tempo possível, por meio de estratégias complementares de reutilização, remanufatura, reaproveitamento e reciclagem. No caso das baterias de íon-lítio utilizadas nos SAE estacionários, esse referencial se traduz em duas estratégias principais, que não são excludentes e podem ser organizadas em sequência: a segunda vida, que reaproveita baterias que ainda retêm capacidade residual em aplicações de menor exigência, e a reciclagem, que recupera os materiais críticos contidos nas células quando a capacidade útil está definitivamente esgotada.

A relevância estratégica dessas duas frentes vai além da gestão de resíduos. As baterias de íon-lítio contêm em sua composição materiais críticos, cuja extração está concentrada em poucos países e sujeita a crescentes pressões geopolíticas, ambientais e de custo. A recuperação desses materiais por meio de processos de reciclagem não apenas reduz a pressão sobre novas frentes de mineração, mas também diminui a dependência de importações e cria as condições para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva nacional de alto valor tecnológico. Da mesma forma,

o reaproveitamento de baterias com capacidade residual em aplicações de menor exigência, como sistemas de iluminação pública ou atendimento comunitário, amplia o ciclo de vida útil dos equipamentos e reduz o custo efetivo das soluções energéticas para comunidades vulneráveis.

Do ponto de vista técnico, o manejo adequado das baterias ao final de sua vida útil envolve decisões que precisam ser antecipadas. Baterias retiradas de sistemas de armazenamento frequentemente ainda retêm capacidade suficiente para aplicações estacionárias menos exigentes. A experiência internacional demonstra que países e estados que avançaram na construção de marcos regulatórios para o ciclo de vida das baterias o fizeram por caminhos distintos, mas complementares.

No Brasil, porém, há um elemento temporal que torna esse debate especialmente urgente. Ao considerar a expansão da aplicação dessa tecnologia, aproxima-se o momento em que seu descarte será uma questão relevante. A urgência da regulamentação, portanto, não decorre de uma ameaça imediata e visível, mas da iminência de que isso ocorra.

Esse conjunto de evidências e lacunas reforça a centralidade das práticas de economia circular como dimensão estruturante de qualquer política de expansão dos SAE comprometida com a sustentabilidade ambiental e com a proteção das comunidades beneficiadas, em especial aquelas em situação de maior vulnerabilidade, que são justamente as que dispõem de menor capacidade institucional para lidar com os passivos gerados pelo descarte inadequado.

6.2.3 Monitoramento dos impactos

A eficácia das políticas públicas que utilizam a energia como instrumento de desenvolvimento socioeconômico depende, em larga medida, da disponibilidade de informações confiáveis, atualizadas e comparáveis sobre os resultados alcançados. No Brasil, a fragmentação institucional entre os diferentes programas voltados à redução da vulnerabilidade e da pobreza energética resulta em um cenário de monitoramento disperso, no qual as bases de dados existentes raramente se comunicam e os indicadores disponíveis não permitem uma leitura integrada dos impactos produzidos. Cada programa opera com sua própria lógica de reporte, seus próprios recortes territoriais e seus próprios critérios de sucesso, o que dificulta tanto a comparação entre iniciativas quanto a identificação das condições em que os benefícios se sustentam no longo prazo.

Essa fragmentação tem consequências concretas. O Programa Luz para Todos, por exemplo, é monitorado predominantemente por indicadores de acesso, que pouco informam sobre a qualidade do fornecimento, a sustentabilidade dos sistemas instalados ou os impactos efetivos sobre a renda, a saúde e a organização comunitária das populações beneficiadas. Da mesma forma, os leilões de sistemas isolados são avaliados por critérios técnicos e econômicos que não contemplam a coleta sistemática de dados sobre os efeitos socioeconômicos locais da operação. Programas e iniciativas com alto valor documentado produzem dados relevantes sobre impacto, mas de forma isolada, sem integração a sistemas nacionais de informação que permitiriam sua comparação, replicação e uso orientado à política pública.

A ausência de uma arquitetura de monitoramento integrada produz ainda um segundo efeito, menos visível mas igualmente relevante: a invisibilidade dos benefícios socioeconômicos dos SAE nos processos decisórios. Quando editais de licitação, contratos com distribuidoras e critérios de financiamento não contemplam a coleta de dados sobre impacto social, os projetos com maior retorno para as comunidades competem em condições de igualdade com soluções que ignoram essa dimensão. Assim, o Estado perde a capacidade de aprender com as experiências em curso e de orientar recursos para as intervenções mais eficazes.

Nesse contexto, o Observatório Brasileiro de Erradicação da Pobreza Energética (OBEPE), desenvolvido pela EPE, representa um avanço relevante na construção de uma base unificada e consistente para o monitoramento do fenômeno no Brasil. No entanto, o OBEPE ainda não incorpora, de forma sistemática, os impactos específicos dos diferentes programas e intervenções, limitando sua utilidade como instrumento de avaliação de política pública. Uma ampliação de seu escopo, que integrasse dados de execução e resultados do PLpT, do MLA, dos leilões SISOL e do CGPAL, permitiria não apenas monitorar a trajetória da pobreza e da vulnerabilidade energética no território, mas também identificar quais configurações de intervenção produzem melhores resultados em quais contextos. Essa informação é estratégica para a alocação de recursos públicos e para o aprimoramento dos instrumentos vigentes.

Além da questão da integração, há um segundo desafio igualmente estrutural: o horizonte temporal do monitoramento. Intervenções em energia são frequentemente avaliadas apenas durante a fase de execução ou imediatamente após a entrega dos sistemas, quando os equipamentos estão em pleno funcionamento e o engajamento externo ainda é intenso. No entanto, os benefícios socioeconômicos mais relevantes, como geração de renda, melhoria nos indicadores de saúde e educação, fortalecimento da autonomia comunitária, são, por natureza, de médio e longo prazo, e tendem a se manifestar de forma plena apenas quando os sistemas operam de maneira estável e sustentada por anos. Da mesma forma, os riscos de deterioração por falta de manutenção, ausência de fundo comunitário ou descomissionamento inadequado das baterias, só se tornam visíveis com o tempo.

Esse conjunto de evidências aponta para a necessidade de que o monitoramento dos impactos deixe de ser uma etapa terminal dos projetos e passe a ser concebido como um processo contínuo, integrado ao ciclo de vida das intervenções. Avaliações realizadas em diferentes momentos permitiriam capturar tanto os efeitos de curto prazo quanto a sustentabilidade dos benefícios no médio e longo prazo, identificando precocemente sinais de deterioração e orientando intervenções corretivas antes que as comunidades revertam à condição anterior de privação energética.

Para que esse monitoramento longitudinal seja viável em escala, é necessário, contudo, que ele seja concebido de forma padronizada e suficientemente simples para ser aplicado por diferentes agentes (distribuidoras, operadores de sistemas, organizações da sociedade civil e gestores públicos), com resultados consolidados em uma plataforma comum de acesso público. O OBEPE representa a infraestrutura mais adequada para cumprir esse papel, desde que ampliado para incorporar não apenas indicadores de contexto, mas também dados de execução e impacto dos programas de energia em operação no país.

6.2.4 Institucionalização da metodologia SROI (*Social Return on Investment*)

Um dos principais obstáculos à priorização dos impactos socioeconômicos frente comparação de alternativas se dá devido a dificuldade em tornar visíveis os benefícios e custos atrelados a esses efeitos. Dessa forma, os ganhos socioeconômicos não podem ser tratados como meras externalidades positivas na análise de custo-benefício da implementação de soluções tecnológicas.

Nesse contexto, a metodologia do Retorno Social sobre Investimento (*Social Return on Investment* – SROI) oferece uma via estruturada para superar essa limitação, partindo do princípio de que toda atividade cria ou destrói valor que vai além do que pode ser mensurado em termos financeiros. O SROI propõe que esse valor mais amplo seja medido, gerenciado e comunicado de forma consistente, utilizando o dinheiro como unidade comum de expressão, não como fim em si mesmo. Assim, se mostra como ferramenta relevante para a avaliação de como as diretrizes norteadoras estabelecidas nas recomendações transversais podem ser efetivamente medidas.

O método se organiza por meio de uma estrutura de gestão baseada em 8 princípios fundamentais, definidos como:

1. **Envolver os stakeholders:** as pessoas que experimentam mudanças como resultado de uma atividade devem ser identificadas e envolvidas ao longo de toda a análise, pois são elas que melhor descrevem as mudanças vividas e informam como o valor deve ser medido;
2. **Compreender o que muda:** é preciso articular como a mudança é criada e avaliá-la com base em evidências, reconhecendo tanto mudanças positivas quanto negativas, intencionais e não intencionais.
3. **Valorar o que importa:** decisões sobre alocação de recursos devem reconhecer o valor atribuído pelos próprios stakeholders aos diferentes resultados. Uma forma de fazer isso é por meio de *proxies* financeiros, que também permitem comparar o valor gerado com o custo da atividade e alternativas.
4. **Incluir apenas o que é “material”:** deve-se determinar quais informações e evidências são essenciais para dar uma imagem verdadeira e justa do impacto. Assim, “material” diz respeito a informações que mudariam o processo de decisão caso fossem deixadas de lado.
5. **Não reivindicar em excesso:** só se deve atribuir ao projeto o valor que ele efetivamente criou. Ou seja, é necessário considerar o que já teria acontecido de toda forma, a contribuição de outros atores, efeitos de deslocamento etc.
6. **Ser transparente:** a análise deve demonstrar de forma clara e documentada as bases sobre as quais foi construída.
7. **Verificar o resultado:** como qualquer análise de valor envolve julgamento e subjetividade, é necessária assecuração independente adequada para que os stakeholders possam avaliar se as decisões tomadas foram razoáveis.
8. **Ser responsivo:** buscar otimizar o valor social com base em decisões oportunas, apoiadas por contabilização e reporte adequados. Na prática, exige três tipos de decisão:

estratégica – definir metas alinhadas a objetivos sociais mais amplos – tática – escolher as atividades que melhor alcançam essas metas – e operacional – melhorar continuamente as atividades existentes.

O SROI transforma benefícios sociais muitas vezes intangíveis em uma linguagem mensurável e comparável, traduzindo impactos como melhoria de renda, saúde, empoderamento comunitário etc. em valor monetário, expresso em uma razão direta entre o valor gerado e o investimento realizado. Mais do que uma ferramenta de prestação de contas, é um instrumento de gestão. Ao mapear o que muda na vida das pessoas afetadas, por quanto tempo e em que magnitude, o SROI permite que gestores identifiquem o que funciona melhor, que financiadores tomem decisões de alocação com base em evidências de impacto real, e que projetos sejam continuamente aprimorados.

Sua vantagem estrutural mais relevante é tornar visível o valor que as análises convencionais de custo-benefício ignoram, que recaem sobre populações que, muitas vezes, carecem de poder nos processos decisórios. Assim, são criadas condições para que esse valor seja considerado em processos de decisão e planejamento.

Constatados os benefícios dessa metodologia, fica recomendada a institucionalização do SROI no contexto de avaliação de projetos de SAE. Esse ponto não pressupõe uma única forma de aplicação, mas sim a incorporação em diferentes frentes e momentos de ciclo de vida dos projetos, por diferentes players envolvidos no desenvolvimento de sistemas de armazenamento.

Essa avaliação é importante desde o momento do planejamento do projeto, exigindo que seja explicitada a teoria de mudança planejada e estimado o valor social planejado, até a fase de avaliação ao fim do projeto, quando os resultados reais são mensurados e comparados com o investimento realizado. Em cada uma dessas frentes, a adoção do SROI cria incentivos estruturais para que os projetos sejam desenhados, selecionados e aprimorados com foco explícito na maximização dos impactos socioambientais, e não apenas na minimização de custo direto.

7 RECOMENDAÇÕES DE INICIATIVAS DE CAPACITAÇÃO E INCLUSÃO

A expansão dos SAE não produzirá transformações socioeconômicas duradouras sem que venha acompanhada de processos intencionais de capacitação, educação e engajamento comunitário. Como demonstrado ao longo deste relatório, os casos de maior sucesso têm em comum não apenas a qualidade técnica dos sistemas instalados, mas a construção de uma relação genuína com as comunidades: formando pessoas locais, respeitando a cartografia social dos territórios e construindo mecanismos coletivos de governança e sustentabilidade.

Essas iniciativas têm naturezas distintas, dentre elas:

- **Capacitação técnica para operação e manutenção dos sistemas**, voltada à formação de mão de obra local capaz de instalar, operar e dar continuidade ao funcionamento dos SAE, reduzindo a dependência de equipes externas e gerando empregos técnicos qualificados nas próprias comunidades beneficiadas;
- **Capacitação técnica para o desenvolvimento socioeconômico da região**, incentivando o uso produtivo da energia, orientada ao aproveitamento integral dos benefícios proporcionados por um fornecimento mais estável e confiável, por meio de novas atividades econômicas habilitadas pela chegada da energia com qualidade;
- **Educação para uso racional e consciente da energia**, que reconhece os recursos energéticos como bem finito e de custo compartilhado, promovendo hábitos de consumo eficientes, a compreensão do funcionamento e dos limites dos sistemas instalados, e a consciência sobre o descarte adequado dos equipamentos ao fim de sua vida útil;
- **Engajamento comunitário e governança participativa**, que vai além da simples comunicação para envolver as comunidades como protagonistas do processo, mapeando suas necessidades e dinâmicas internas, construindo regimentos coletivos de uso e gestão dos sistemas, e criando espaços permanentes de participação que assegurem que os benefícios da energia sejam distribuídos de forma equitativa e sustentada ao longo do tempo.

Cabe ressaltar que essas iniciativas não são acessórias, naquilo que sem elas equipamentos se deterioram, a dependência de agentes externos se perpetua e os benefícios se dissipam. Adicionalmente, essas quatro dimensões não operam de forma isolada, colhendo benefícios quando operam de forma integrada. Com essas medidas, a energia deixa de ser apenas um insumo e se torna uma plataforma de desenvolvimento – de capacidades, de renda, de autonomia e de identidade coletiva.

De maneira geral, percebe-se que projetos se beneficiam, especialmente, da realização de capacitação técnica para operação e manutenção da tecnologia implementada. Quando considerada desde a concepção do projeto, a articulação da instalação dos sistemas com a formação de técnicos locais capazes de operá-los e mantê-los torna-se componente de sucesso para a sustentabilidade do projeto.

Essa articulação reduz a dependência de equipes externas, cujo acionamento em regiões remotas implica custos logísticos elevados e longos períodos para resolução. Além disso, a capacitação

técnica converte a infraestrutura energética em oportunidade de inserção qualificada no mercado de trabalho para a população da região. Para que isso ocorra, é essencial que as instituições de capacitação profissional, como o SENAI e institutos federais, sejam envolvidos desde o planejamento do projeto e que os currículos de formação sejam adaptados às necessidades específicas da região e da solução de suprimento.

Adicionalmente, a inclusão de mulheres nesses programas é um critério que potencializa os seus impactos, reconhecendo o papel delas nessas comunidades e ampliando o alcance dos benefícios socioeconômicos para grupos historicamente excluídos de trajetórias técnico profissionais.

Para além da capacitação voltada a operação e manutenção do equipamento energético implementado, há ainda uma lacuna importante a ser endereçada que diz respeito a capacitação para o uso produtivo dessa energia. A chegada da energia não garante, por si só, sua conversão em desenvolvimento econômico. Assim, é importante que essas comunidades sejam orientadas a explorar as oportunidades produtivas que se tornam possíveis, que vão desde a refrigeração de pescado e o processamento de frutos amazônicos, até a operação de pequenos empreendimentos comerciais e a prestação de serviços locais.

Essa capacitação deve ser desenhada a partir de um mapeamento das cadeias produtivas de cada território, valorizando saberes e vocações locais, e adicionando a elas formação técnica e capacitação. O turismo de base comunitária, a agroindústria familiar e o artesanato são exemplos de atividades que dependem de energia confiável para se tornarem economicamente atrativos. A necessidade por serviços também emerge como oportunidade relevante, e a possibilidade de explorar a implementação de barbearias, salões, costureiras, padarias, mercearias etc. Incorporar essas perspectivas nos impactos mensuráveis de projetos de energia – e especificamente de armazenamento – promove o desenvolvimento socioeconômico das comunidades beneficiadas.

Quanto à educação para uso racional e consciente da energia, trata-se de uma dimensão frequentemente negligenciada nos projetos de eletrificação, mas determinante para sua sustentabilidade no longo prazo. Em comunidades recém-eletrificadas, a chegada de energia abundante pode gerar comportamentos de consumo que se caracterizam pelo desperdício. Adicionalmente, o entendimento do funcionamento e das limitações dos sistemas implementados é relevante para seu uso adequado e diligente, assegurando manutenção e funcionamento esperados.

Cartilhas adaptadas à realidade local, oficinas práticas e materiais em línguas indígenas ou com linguagem visual acessível são instrumentos pertinentes, já utilizados com sucesso por iniciativas como do Projeto Saúde e Alegria e da Fundação Amazônia Sustentável, além do Luz para Todos. Tratam-se de importantes medidas, que devem ser sistematizadas e escaladas como componentes obrigatórios em projetos.

No campo do engajamento comunitário e governança corporativa, a experiência acumulada pelos estudos de caso analisados neste relatório demonstra que o protagonismo das comunidades não é uma variável secundária, mas a condição que determina se os benefícios dos SAE se sustentam ou se dissipam ao longo do tempo. Projetos que tratam as comunidades como

beneficiárias passivas tendem a gerar dependência de agentes externos e maior resistência por parte da população afetada.

Considerando esse panorama, a matriz apresentada a seguir propõe um conjunto de iniciativas estruturadas por tipo de comunidade, com identificação dos agentes envolvidos e dos benefícios esperados em cada caso. O objetivo não é esgotar as possibilidades, mas oferecer um ponto de partida concreto para que essa dimensão seja incorporada no desenho de políticas públicas, editais e projetos de implementação de SAE no Brasil, garantindo que a expansão do armazenamento de energia se converta, de fato, em desenvolvimento humano e territorial duradouro.

Tabela 1 Plano de Capacitação e Engajamento Comunitário

Comunidade a ser engajada	Tipo de capacitação/engajamento	Agentes envolvidos e seus papéis	Benefícios esperados
Capacitação Técnica para Operação e Manutenção dos Sistemas			
Comunidades indígenas, ribeirinhas e extrativistas da Amazônia Legal	Formação de técnicos locais em instalação, operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos com armazenamento, com currículo adaptado às condições climáticas e logísticas da Amazônia (umidade, temperatura, tropicalização dos equipamentos)	<ul style="list-style-type: none"> • SENAI e institutos federais: desenvolvimento e oferta de formação técnica com currículo adaptado; • Organizações da sociedade civil: articulação com as comunidades e seleção de participantes; • Distribuidoras: identificação das necessidades específicas do local para direcionar o currículo fornecido; 	Geração de empregos técnicos qualificados nas próprias comunidades; maior durabilidade dos sistemas pela manutenção local adequada; redução dos custos e do tempo de inatividade dos sistemas por falha
Comunidades indígenas, ribeirinhas e extrativistas da Amazônia Legal	Formação de agentes comunitários de energia: moradores capacitados para operar e fazer a manutenção de primeiro nível dos sistemas, com materiais didáticos em línguas indígenas e linguagem visual acessível	<ul style="list-style-type: none"> • Instituições ligadas ao meio ambiente (como FUNAI e ICMBio): articulação com as comunidades e definição de protocolo de conduta; • Universidades e institutos federais: desenvolvimento de materiais didáticos; • Organizações da sociedade civil: desenvolvimento de metodologia de 	Manutenção dos sistemas por mão de obra local sem dependência de equipes externas; preservação cultural no processo de incorporação da tecnologia; maior engajamento e sentido de pertencimento em relação aos sistemas instalados

Comunidade a ser engajada	Tipo de capacitação/engajamento	Agentes envolvidos e seus papéis	Benefícios esperados
		formação que leve em consideração a cartografia social do território.	
Comunidades periféricas urbanas e favelas	Programa de formação profissional em instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos com armazenamento com o objetivo de incentivar a expansão da geração distribuída de caráter social	<ul style="list-style-type: none"> • SENAI e institutos federais: desenvolvimento e oferta de formação técnica com currículo adaptado; • Organizações da sociedade civil: articulação com as comunidades e seleção de participantes; • Distribuidoras e prefeitura: absorção preferencial da mão de obra formada nos programas. 	Qualificação de mão de obra local para atendimento às necessidades energéticas; inserção qualificada de moradores de comunidades periféricas no mercado de trabalho; geração de empregos verdes locais
Capacitação Técnica para o Desenvolvimento Socioeconômico da Região			
Comunidades indígenas, ribeirinhas e extrativistas da Amazônia Legal	Capacitação para uso produtivo da energia, alavancando a cultura local e explorações econômicas já existentes, através de workshops e cursos com temáticas como técnicas de	<ul style="list-style-type: none"> • MDA¹², MPA¹³, ICMBio: apoio a cadeias produtivas da agricultura familiar, extrativismo, beneficiamento, refrigeração etc.; • Cooperativas e associações locais: identificação das vocações produtivas e organização coletiva da produção; 	Aumento da geração de renda familiar pelo maior valor agregados dos produtos comercializados e a possibilidade de arbitragem temporal

¹² Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar

¹³ Ministério da Pesca e Aquicultura

Comunidade a ser engajada	Tipo de capacitação/engajamento	Agentes envolvidos e seus papéis	Benefícios esperados
	artesanato que podem ser alavancadas com o uso de instrumentos movidos à eletricidade; operação de sistemas de refrigeração e câmaras frias coletivas para cultivo de pescado e frutos amazônicos; beneficiamento e agregação de valor a produtos naturais locais etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas fornecedoras de equipamentos produtivos: treinamento operacional e manutenção de equipamentos elétricos. 	
Comunidades recém eletrificadas	Formação profissionalizante para estimular novos negócios, com foco na prestação de serviços possibilitados/facilitados pelo fornecimento de energia (barbeiro, cabelereiro, manicure, confeitaria, produção de marmitas/doces/salgados, corte e costura etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • SENAI, SENAC e institutos federais: oferta de cursos profissionalizantes adaptados ao contexto local; • Prefeituras e secretarias municipais: mobilização comunitária e encaminhamento de beneficiários; • Organizações da sociedade civil: identificação de perfis de empreendedores e apoio à permanência nos cursos; • Associações comunitárias: seleção de participantes e disponibilização de espaços comunitários; 	Surgimento de novos negócios locais; ampliação da geração de fonte de renda; diversificação da economia local e circulação de renda dentro da comunidade



Comunidade a ser engajada	Tipo de capacitação/engajamento	Agentes envolvidos e seus papéis	Benefícios esperados
		<ul style="list-style-type: none"> • Microempreendedores locais: mentoria prática e compartilhamento de experiências; • Instituições financeiras: microcrédito e capital semente. 	
Comunidades em situação de vulnerabilidade ou pobreza energética	Cursos de alavancagem do potencial empreendedor, com temas como gestão financeira básica, controle de estoque, informática, marketing e vendas, organização de negócio etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Organizações sociais: mobilização e acompanhamento dos participantes; • Universidades e incubadoras sociais: mentoria e aceleração de pequenos negócios; • Prefeituras: articulação territorial e oferta de espaços públicos para capacitação; • Cooperativas locais: compartilhamento de experiências de negócios comunitários; • Empresas de tecnologia e inclusão digital: apoio em ferramentas digitais e plataformas de vendas. 	Surgimento de novos negócios locais e ampliação das fontes de renda;
Educação para Uso Racional e Consciente da Energia			

Comunidade a ser engajada	Tipo de capacitação/engajamento	Agentes envolvidos e seus papéis	Benefícios esperados
Comunidades recém eletrificadas	Programa de educação energética para novos usuários, hábitos de consumo eficiente e compreensão dos custos associados ao consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> • Distribuidoras de energia: elaboração de campanhas educativas e orientação sobre consumo; • ANEEL: apoio regulatório e alinhamento com programas de eficiência energética; • Escolas locais e professores: disseminação contínua de conteúdo educativo; • Organizações da sociedade civil: disseminação de conteúdo educativo adaptado a linguagem e realidades locais; • Lideranças comunitárias: mobilização e reforço das boas práticas; • Prefeituras e secretarias de educação: inserção do conteúdo em ações locais. 	Redução de desperdícios desnecessários devido ao uso inconsciente do recurso.
Comunidades atendidas por sistemas de baterias	Capacitação específica sobre logística reversa de baterias – identificação dos sinais de degradação de equipamentos, canais de devolução	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricantes e fornecedores de baterias: orientação técnica e estruturação de logística reversa; • Secretarias municipais de meio ambiente: apoio logístico e coleta local; 	Redução do risco de contaminação ambiental por descarte inadequado de baterias; proteção da saúde das

Comunidade a ser engajada	Tipo de capacitação/engajamento	Agentes envolvidos e seus papéis	Benefícios esperados
	disponíveis, riscos do descarte inadequado para a saúde e o meio ambiente, e direitos e responsabilidades dos usuários	<ul style="list-style-type: none"> • Cooperativas de reciclagem: destinação adequada de resíduos; • Organizações comunitárias: conscientização sobre riscos ambientais; • Instituições de saúde pública: orientação sobre riscos de contaminação; • Empresas especializadas em gestão de resíduos perigosos: transporte e destinação final. 	populações em regiões remotas
Engajamento Comunitário e Governança Participativa			
Comunidades periféricas urbanas em processo de expansão da geração distribuída	Formação de cooperativas comunitárias de energia: estruturação jurídica, modelo de governança democrática (um voto por membro), gestão financeira dos créditos de energia gerados, e mecanismos de distribuição equitativa dos benefícios entre os cooperados	<ul style="list-style-type: none"> • Defensorias públicas e assessorias jurídicas populares: apoio na formalização; • Distribuidoras de energia: integração com regras de compensação energética; • Prefeituras: cessão de áreas e apoio institucional; • Instituições financeiras e bancos públicos: financiamento inicial; 	Distribuição equitativa dos benefícios da geração distribuída para famílias de baixa renda; redução de até 40% na conta de energia dos cooperados; geração de fundo comunitário reinvestido no próprio território; modelo replicável de cooperativismo

Comunidade a ser engajada	Tipo de capacitação/engajamento	Agentes envolvidos e seus papéis	Benefícios esperados
		<ul style="list-style-type: none"> • Organizações comunitárias: mobilização social e governança participativa; • Empresas integradoras de energia solar: suporte técnico e operação. 	energético em comunidades periféricas
Comunidades em territórios com projetos de SAE em fase de planejamento	Consulta e participação comunitária desde a fase de concepção dos projetos: mapeamento das demandas e prioridades locais, apresentação das opções tecnológicas em linguagem acessível, e definição participativa do dimensionamento dos sistemas — incluindo usos produtivos e espaços coletivos além do consumo residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Lideranças comunitárias e associações locais: representação das prioridades e validação social; • FUNAI e ICMBio: garantia de protocolos territoriais; • Organizações da sociedade civil: facilitação metodológica e mediação participativa; • Empresas desenvolvedoras dos projetos: apresentação das alternativas tecnológicas; • Universidades e centros de pesquisa: apoio técnico para diagnóstico territorial; • Prefeituras e governos estaduais: integração com políticas públicas locais. 	Dimensionamento dos sistemas adequado às reais necessidades e vocações produtivas das comunidades; maior legitimidade e aceitação social dos projetos; redução do risco de subutilização ou abandono dos sistemas por desalinhamento com as demandas locais

8 CONCLUSÃO

Os Sistemas de Armazenamento de Energia representam, no contexto brasileiro, muito mais do que um ativo técnico de suporte à rede elétrica. Quando adequadamente integrados a políticas públicas sensíveis às realidades territoriais, os SAE podem constituir instrumentos concretos de inclusão social, redução da pobreza e vulnerabilidade energética e desenvolvimento econômico local. Essas são condições indispensáveis para que a transição energética brasileira se realize de forma plena e justa.

A análise empreendida nos capítulos anteriores considera quatro importantes dimensões interdependentes do desenvolvimento socioeconômico sobre as quais os SAE atuam: o fortalecimento das atividades produtivas locais e a geração de renda; a ampliação do acesso a serviços essenciais de saúde, educação e segurança; a formação de capital humano e a criação de empregos técnicos qualificados; e o empoderamento comunitário e o fortalecimento da governança energética local. Essas dimensões não operam de forma isolada, mas sim constituem um sistema de retornos positivos mútuos, no qual a energia estável e confiável funciona como plataforma habilitadora de um círculo virtuoso de inclusão e desenvolvimento territorial.

Os estudos de caso documentados são consistentes em demonstrar que os impactos mais expressivos não emergem da simples instalação de equipamentos, mas da combinação entre soluções tecnológicas adequadas, engajamento comunitário genuíno e mecanismos institucionais que garantem a sustentabilidade dos projetos ao longo do tempo. Onde esses elementos se articulam, a energia transforma – gera renda, forma pessoas, fortalece identidades e amplia a autonomia coletiva.

Entretanto, esse potencial transformador não se realiza de forma espontânea, nem é garantido pelas políticas públicas vigentes em sua configuração atual. O Programa Luz para Todos, principal instrumento de inclusão energética do país, enfrenta limitações estruturais de dimensionamento e engajamento comunitário que restringem seu impacto socioeconômico. Os leilões de sistemas isolados avançaram na descarbonização do suprimento, mas ainda carecem de requisitos explícitos voltados ao desenvolvimento das comunidades atendidas. Os mecanismos de financiamento disponíveis não atendem adequadamente projetos de menor escala, que são exatamente os de maior potencial de impacto social. E a ausência de um marco regulatório para comunidades energéticas impede que modelos participativos de gestão da energia se disseminem com a escala e a segurança jurídica necessárias.

No plano da cadeia produtiva, o diagnóstico é igualmente claro: o Brasil detém ativos minerais e industriais relevantes, mas captura uma fração desproporcionalmente pequena do valor gerado pela expansão dos SAE, ao concentrar sua presença nos elos de menor valor agregado da cadeia. Superar essa assimetria requer uma política industrial deliberada, que priorize o refino e o processamento intermediário como etapas estratégicas, identifique nichos de fabricação de componentes com vantagem comparativa real e articule as exigências de conteúdo local com instrumentos efetivos de fomento à oferta industrial doméstica.

A dimensão dos pontos de atenção identificados (riscos à saúde e ao meio ambiente associados ao ciclo de vida das baterias, vulnerabilidades laborais na cadeia produtiva global e a urgência

da regulamentação da logística reversa) reforça que uma transição energética verdadeiramente justa exige atenção simultânea à maximização dos benefícios e à mitigação dos passivos. Ignorar esses riscos comprometeria a integridade das mesmas comunidades que os SAE têm o potencial de empoderar.

Diante desse conjunto de achados, as recomendações apresentadas neste relatório – organizadas em direcionamentos concretos para programas e políticas específicas e em orientações transversais voltadas à territorialização, à economia circular, ao monitoramento e à institucionalização do SROI – apontam para uma agenda possível e necessária. Uma agenda que reconheça a energia não como fim em si mesma, mas como vetor de direitos, de oportunidades e de dignidade.

As recomendações de caráter geral são complementadas, ainda, por um conjunto de iniciativas estruturadas de capacitação e inclusão, organizadas por tipo de comunidade e perfil de intervenção. Esse plano reconhece que a expansão dos SAE não produzirá transformações socioeconômicas duradouras sem que venham acompanhados de processos intencionais de formação técnica, educação para o uso consciente da energia e engajamento comunitário.

Com esse plano, a energia deixa de ser apenas um insumo e se torna uma plataforma de desenvolvimento de capacidades, de renda, de autonomia e de identidade coletiva. A inclusão de mulheres nesses processos, a adaptação dos currículos às realidades territoriais e o envolvimento de instituições como SENAI e institutos federais desde a concepção dos projetos são condições que os casos documentados neste relatório apontam como determinantes para o sucesso e a sustentabilidade das iniciativas.

O Brasil dispõe das condições para que a expansão dos SAE se converta em vetor de uma transição energética justa: reservas minerais de relevância global, uma matriz elétrica majoritariamente renovável, iniciativas da sociedade civil com enraizamento territorial profundo e uma trajetória de políticas de universalização que, apesar de suas limitações, demonstra a capacidade do Estado de mobilizar recursos em escala.

A concretização desse potencial, contudo, depende de escolhas deliberadas de política pública sobre como articular instrumentos fragmentados, como distribuir os benefícios da transição de forma equitativa e como garantir que as comunidades mais vulneráveis sejam tratadas como protagonistas, e não como destinatárias passivas, desse processo. É nesse sentido que as recomendações apresentadas se colocam: não como diagnóstico conclusivo, mas como contribuição a um debate que o Brasil precisa aprofundar, antes que a janela aberta pela transição energética global se estreite.

9 REFERÊNCIAS

- [1] SOVACOOOL, B. K.; DWORKIN, M. H. Energy justice: Conceptual insights and practical applications. *Applied Energy*, v. 142, p. 435–444, mar. 2015. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.01.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261915000082>
- [2] ESMAP; IEA; IRENA; UN STATISTICS; WORLD BANK; WHO. Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. Washington, DC: World Bank. Disponível em: <https://trackingsdg7.esmap.org/>
- [3] ESMAP; IEA; IRENA; UN STATISTICS; WORLD BANK; WHO. Tracking SDG 7: The Energy Progress Report 2025. Washington, DC: World Bank, 2025. Disponível em: <https://trackingsdg7.esmap.org/sites/default/files/download-documents/SDG7-Report2025-0804-V11.pdf>
- [4] INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. ODS 7 – Energia Limpa e Acessível: Monitoramento dos Indicadores. Brasília: IPEA. Disponível em: <https://ipea.gov.br/ods/ods7.html>
- [5] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Política Nacional de Transição Energética (PNTE). Brasília: MME. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgate/pnte>
- [6] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Análise de Experiências Estadais Internacionais Relativas à Pobreza e Justiça Energética: definições, indicadores, medidas e governança. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-802/NT%20Experi%C3%A7%C3%A3o%20internacionais_finalSMA19_03_2024.pdf
- [7] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Observatório Brasileiro de Erradicação da Pobreza Energética (OBEPE): Painel de Dados. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/OBEPE/>
- [8] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Projeto Tecendo Conexões: Observatório Brasileiro de Erradicação da Pobreza Energética – OBEPE. Rio de Janeiro: EPE, maio 2025. (NT-EPE-DEA-SEE-006-2025). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublishingImages/Paginas/Forms/Publicaes/NT_OBEPE_final.pdf
- [9] BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União:

- seção 1, Brasília, DF, 7 jan. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/leis/lei-n-14-300-2022.pdf/>
- [10] BRASIL. Lei nº 15.235, de 8 de outubro de 2025. Altera as Leis nºs 10.438, de 26 de abril de 2002, 12.111, de 9 de dezembro de 2009, e 12.212, de 20 de janeiro de 2010; e revoga dispositivos das Leis nºs 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 11.196, de 21 de novembro de 2005. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 out. 2025. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2025/lei-15235-8-outubro-2025-798121-publicacaooriginal-176682-pl.html>
- [11] WWF-BRASIL. Energia solar em comunidades isoladas: estudo de caso de minirrede híbrida em RESEX no sul do Amazonas. [S. l.]: WWF-Brasil, set. 2022. Disponível em: https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/estudo_de_caso_em_resex_na_amazonia_legal_1.pdf
- [12] CICLOVIVO. Comunidade remota gera a própria energia solar no Amazonas. [S.l.]: CicloVivo, 18 out. 2024. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/comunidade-remota-gera-propria-energia-solar-no-amazonas/>
- [13] FUNDO AMAZÔNIA. Projeto Bolsa Floresta. Brasília: Fundo Amazônia/BNDES. Disponível em: <https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/projeto/bolsa-floresta-00001>
- [14] MONGABAY BRASIL. Painéis solares levam luz – e novas oportunidades – a comunidade remota no Amazonas. [S.l.]: Mongabay Brasil, 1 fev. 2022. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2022/02/paineis-solares-levam-luz-e-novas-oportunidades-a-comunidade-remota-no-amazonas/>
- [15] METRÓPOLES. Comunidade ribeirinha tem rotina transformada pela chegada de energia renovável. [S.l.]: Metrôpoles, 12 jun. 2023. Disponível em: <https://www.metropoles.com/brasil/comunidade-ribeirinha-tem-rotina-transformada-pela-chegada-de-energia-renovavel>
- [16] WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Electricity in Health Care Facilities. Geneva: WHO. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electricity-in-health-care-facilities>
- [17] LÓPEZ CAJIAO, Daniela. Lightning the future of education in Brazil: the impact of rural electrification on educational outcomes. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE, set. 2018. (Serie Documentos CEDE, 2018-43). ISSN 1657-7191. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/col/000089/016817.html>
- [18] G1 GLOBO. UBS de São Miguel é contemplada com energia solar para armazenamento de vacinas e uso de inaladores. [S.l.]: G1, 20 dez. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2021/12/20/ubs-de-sao-miguel-e->

[contemplada-com-energia-solar-para-armazenamento-de-vacinas-e-uso-de-inaladores.ghml](#)

- [19] PROJETO SAÚDE E ALEGRIA. UBS de São Miguel é equipada com energia solar para armazenamento de vacinas e uso de inaladores. Santarém: Projeto Saúde e Alegria, 18 dez. 2021. Disponível em: <https://saudealegria.org.br/redemocoronga/ubs-de-sao-miguel-e-equipada-com-energia-solar-para-armazenamento-de-vacinas-e-uso-de-inaladores/>
- [20] FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL – FBB. Poste de Luz Solar: Litro de Luz Brasil. Brasília: FBB. Disponível em: <https://transforma.fbb.org.br/tecnologia-social/poste-de-luz-solar-litro-de-luz-brasil>
- [21] PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Sistema de microgeração solar beneficia famílias da Região Leste. São José dos Campos: Prefeitura Municipal, 4 ago. 2023. Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2023/agosto/04/sistema-de-microgeracao-solar-beneficia-familias-da-regiao-leste/>
- [22] MEGAWHAT. EDP investe R\$ 1 milhão para modernizar sistema de microgeração solar de comunidade isolada. [S.l.]: MegaWhat, 7 ago. 2023. Disponível em: <https://megawhat.uol.com.br/economia-e-politica/empresas/edp-investe-r-1-milhao-para-modernizar-sistema-de-microgeracao-solar-de-comunidade-isolada/>
- [23] PV MAGAZINE BRASIL. Descarbonização na Amazônia prepara Aggreko para competir no leilão de armazenamento. [S.l.]: PV Magazine Brasil, 28 nov. 2025. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2025/11/28/descarbonizacao-na-amazonia-prepara-aggreko-para-competir-no-leilao-de-armazenamento/>
- [24] CLIMATE TRACKER LATAM. Energia solar em escola indígena na Amazônia. [S.l.]: Climate Tracker LatAm, 3 jan. 2024. Disponível em: <https://climatetrackerlatam.org/historias/energia-solar-escola-indigena-na-amazonia/>
- [25] PROJETO SAÚDE E ALEGRIA. Mulheres Eletricistas do Sol comemoram conclusão de curso na floresta: “Não sabia como fazia retorno dessa lâmpada. Tinha muita vontade de aprender”. Santarém: Projeto Saúde e Alegria, 14 mar. 2025. Disponível em: <https://saudealegria.org.br/redemocoronga/curso-mulheres-eletricistas-sol/>
- [26] MONGABAY BRASIL. Como a energia solar está transformando comunidades isoladas da Amazônia. [S.l.]: Mongabay Brasil, 13 mar. 2023. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2023/03/como-a-energia-solar-esta-transformando-comunidades-isoladas-da-amazonia/>
- [27] CANAL ENERGIA. Aggreko coloca em operação usina híbrida em cidade do AM. [S.l.]: Canal Energia, 10 jun. 2025. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53313580/aggreko-coloca-em-operacao-usina-hibrida-em-cidade-do-am>

- [28] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. BESS Failure Incident Database. Palo Alto: EPRI, 2024. Disponível em: https://storagewiki.epri.com/index.php/BESS_Failure_Incident_Database. Ace
- [29] INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Cobalt, antimony compounds, and weapons-grade tungsten alloy. Lyon: IARC, 2023. (IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans, v. 131). Disponível em: <https://publications.iarc.fr/618>.
- [30] LARSSON, Fredrik; ANDERSSON, Petra; BLOMQUIST, Per; MELLANDER, Bengt-Erik. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Scientific Reports, v. 7, n. 1, art. 10018, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-09784-z. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>.
- [31] MROZIK, Wojciech; RAJAEIFAR, Mohammad Ali; HEIDRICH, Oliver; CHRISTENSEN, Paul. Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries. Energy & Environmental Science, v. 14, n. 12, p. 6099-6121, 2021. DOI: 10.1039/D1EE00691F. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D1EE00691F>.
- [32] UNITED STATES. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Toxicological Profiles. Atlanta: ATSDR, [2024]. Perfis toxicológicos de chumbo, cobalto, manganês e níquel. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.html>.
- [33] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Batteries and Secure Energy Transitions. Paris: IEA, 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions>.
- [34] BLOOMBERGNEF. Lithium-Ion Battery Price Survey 2024. New York: BloombergNEF, 2024. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-115-per-kilowatt-hour/>.
- [35] AMNESTY INTERNATIONAL. This is what we die for: human rights abuses in the Democratic Republic of the Congo power the global trade in cobalt. Londres: Amnesty International, 2016. Disponível em: <https://www.amnesty.org/en/documents/afr62/3183/2016/en/>.
- [36] INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. Child labour in cobalt mining in the Democratic Republic of the Congo. Genebra: ILO, 2024. Disponível em: <https://www.ilo.org/topics/child-labour>.
- [37] GLOBAL BATTERY ALLIANCE. Battery Passport: 2024 operational trials and battery benchmarks. Genebra: GBA, 2025. Disponível em: <https://www.globalbattery.org/battery-passport/>.
- [38] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global Critical Minerals Outlook 2025. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>

- [39] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Critical Mineral Traceability for Energy and Economic Security. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/critical-mineral-traceability-for-energy-and-economic-security>
- [40] INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. Qual a importância do Brasil na cadeia global de minerais críticos da transição energética? Brasília: Ipea/ANM, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/noticias/brasil-ensaia-ciclo-de-expansao-mineral-impulsionado-por-investimentos-e-regulacoes>.
- [41] SERRA VERDE PESQUISA E MINERAÇÃO (SVPM). Serra Verde. Minaçu: SVPM, 2024. Disponível em: <https://svpm.com.br/br/home-br/>
- [42] AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. *Sumário mineral brasileiro 2025*. Brasília: ANM, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2025/sumario-2025.pdf>
- [43] INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Minerais críticos e estratégicos no Brasil: um passaporte para o futuro. Brasília: IBRAM, 2025. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/10/IBRAM_MINERAIS-CRITICOS-E-ESTRATEGICOS-NO-BRASIL_WEB.pdf
- [44] COMPANHIA BRASILEIRA DE METALURGIA E MINERAÇÃO. CBMM inaugura planta de ânodo de nióbio XNO® para baterias. 2024. Disponível em: <https://cbmm.com/pt/midias/noticias/inauguracao-planta-anodo-niobio-xno>
- [45] BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Regulamento Setorial para o Credenciamento de Sistemas Estacionários de Armazenamento de Energia em Baterias e em Hidrogênio no âmbito do CFI do Sistema BNDES. Rio de Janeiro: BNDES, 2025. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/8bde1681-4c2b-4096-be7a-cc680a6a64e4/Sistemas+Estacion%C3%A1rios+de+Armazenamento+de+Energia+em+Baterias+e+em+Hidrog%C3%AAnio.pdf?MOD=AJPERES&CVID=pJqVR5e>