

Capítulo V

Universalização do acesso à energia elétrica no Brasil: novas oportunidades e desafios

INTRODUÇÃO

Embora a “luz artificial” seja conhecida por todos, o aproveitamento dos seus benefícios não é universal, mesmo em nossos dias. Levar esse serviço para todos os extremos do país é ainda um problema desafiador. Em termos geográficos, classicamente regiões com alta complexidade de acesso são locais em que a instalação e manutenção das redes de energia elétrica se tornam onerosas e inviáveis. Caso esses consumidores sejam atendidos pelas redes de energia elétrica, eles certamente possuem a pior qualidade de energia elétrica, com indicadores de qualidade de energia que extrapolam os limites regulatórios impostos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

Entre os principais obstáculos relacionados ao sucesso da eletrificação de áreas rurais localizadas em regiões remotas, destacam-se [1], [2] e [3]:

- Baixa densidade demográfica;
- Baixo nível de renda;
- Baixo consumo;
- Longas distâncias;
- Custo elevado de investimento.

A falta de acesso à energia elétrica em áreas rurais tem sido apontada por diversos autores como o fator para a dificuldade de desenvolvimento econômico e social, influenciando na qualidade de vida e oportunidades de trabalho, tendo um grande impacto no alívio da pobreza [1], [4]. No passado, diversos países, como Inglaterra [5], China [6], Coreia do Sul [7], Espanha [8] e Índia [9] realizaram ações voltadas à eletrificação rural, conforme as suas condições econômicas, sociais, ambientais e geográficas, procurando reverter as consequências da falta de energia elétrica.

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), em 2019,

o Brasil possuía 99,7% da população universalizada dos Serviços Públicos de Energia Elétrica, sendo que aproximadamente 600 mil pessoas ainda não estavam usufruindo do serviço [10]. Conforme projeções para 2030, da mesma IEA, o efeito da pandemia da Covid-19 impactará em menor maneira o Brasil e os países da América Central e Sul em relação a países na Ásia e África, em que as metas do ODS-7 (Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis da ONU), que dizem respeito à universalização da energia, correm o risco de não serem atendidas. A Figura 1 apresenta o mapa da porcentagem de domicílios com acesso à energia elétrica por estado, considerando tanto a área urbana quanto a rural publicados pelo IBGE em 2019 em que os estados do Norte e Nordeste são menos beneficiados do país.

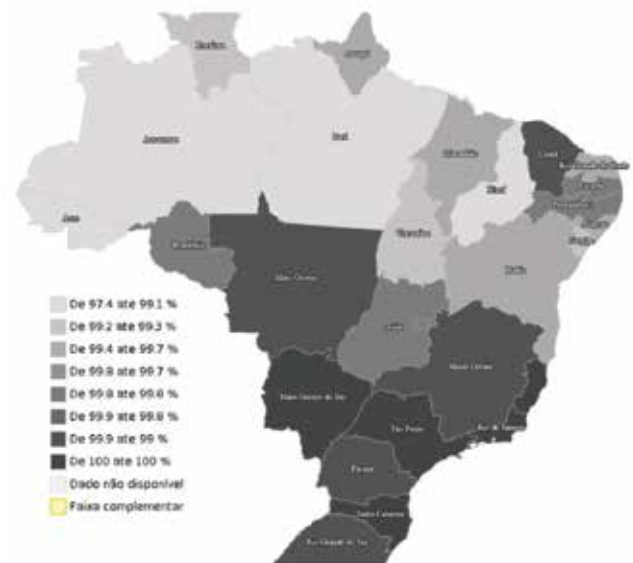


Figura 1 – Mapa do percentual de universalização do Brasil por estado.
Fonte: [11]

Em [11] se consideram universalizados os estados que, por meio de suas concessionárias, apresentaram seus planos de universalização anteriormente a sua publicação, mas que pequenos percentuais ainda serão materializados efetivamente até 2022, como é o caso de Mato Grosso do Sul, que aparece 100 % atendido.

Mas voltando aos casos de novos atendimentos, no Brasil, a Aneel define as regras para atendimento de novos consumidores, pelo que consideramos que o tema regulatório em termos de investimento está resolvido para esses consumidores, sejam esses atendidos pela extensão da rede convencional ou, caso não seja possível, por sistemas isolados, que podem ser microrredes ou sistemas individuais de energia elétrica. Nesse grupo, diferenciam-se os sistemas isolados em que a fonte de geração é renovável intermitente, conhecidos como SIGFIs, e os que podem considerar fontes híbridas e combustível fóssil.

A escolha da melhor alternativa passa sempre pelo critério de mínimo custo global, sendo que no Brasil existem basicamente três formas de financiamento do investimento. A primeira forma é com recursos próprios da distribuidora que, se aplicada conforme os critérios de racionalidade, serão recuperados pela distribuidora através da tarifa de energia elétrica. A segunda forma e a mais relevante é mediante o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz para Todos (LPT),

instaurado em 2003 pelo governo federal, juntamente com os governos estaduais, por meio da Lei 10438/2002. Até o ano de 2018, foram eletrificadas 3,4 milhões de unidades consumidoras, aproximadamente. Porém, a universalização ainda não foi alcançada, sendo prorrogado até o ano de 2022 [12], com foco no remanescente de aproximadamente 600 mil pessoas.

A terceira forma de financiamento, exclusivo para sistemas de geração que se localizem em sistemas isolados (não conectados ao sistema interligado nacional) é por meio da sub-rogação da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC) através do Decreto nº. 7.246, de 28 de julho de 2010. A sub-rogação é um incentivo financeiro concedido para estimular a substituição da geração termelétrica com combustíveis derivados de petróleo por outras fontes ou para tornar a usina mais eficiente.

Do ponto de vista regulatório, ainda se evidenciam entraves para o reconhecimento dos custos operacionais devido ao modelo de benchmarking, utilizado pela Aneel. Esse modelo vigente não suporta os sistemas de geração não conectados ao sistema interligado, sejam enquadrados ou não na definição de sistema isolado. Considera-se que esse entrave é chave para o sucesso da eletrificação para esses sistemas, uma vez que deve fornecer o equilíbrio entre qualidade de fornecimento de energia elétrica (QEE), investimentos, expectativa percebida pelos stakeholders



THB391

CONECTORES ELÉTRICO IP68 ANTICONDENSAÇÃO

Acabe com a condensação

A barreira anti condensação impede que a água/ umidade atravesse o cabo, entre no conector e vá além dele, impede ainda de alcançar a instalação do dispositivo.

IDEAL PARA LUMINÁRIAS DE LED



ILUMINAÇÃO PÚBLICA

e os indicadores de desenvolvimento humano (IDH) das áreas atendidas. Qualquer desequilíbrio em um desses fatores pode impactar negativamente as nobres intenções dos programas de universalização.

Na Figura 2, observa-se a necessidade de acompanhamento dos indicadores socioeconômicos, pois a melhoria nesses índices incentiva novos investimentos devido à criação de economias de mercado em diversas áreas, mas para isso existe um elo muito forte relacionado à qualidade de energia elétrica a ser fornecida.

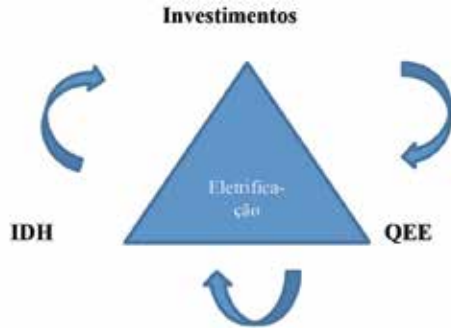


Figura 2 – Triângulo para o sucesso dos programas de eletrificação no Brasil.

DESAFIOS TÉCNICOS E NOVAS OPORTUNIDADES

Expansão da rede convencional

A área rural, além de ser ocupada de maneira dispersa, possui uma menor capacidade de consumo. Além de estarem espaçadas em grandes distâncias, as populações rurais normalmente estão situadas distantes dos centros de geração de energia elétrica de médio e grande porte. Outro fator complicador para a disseminação da eletrificação nessas regiões é que, em muitos casos, as propriedades rurais estão localizadas em áreas ambientalmente sensíveis e com logística complexa.

Recentemente, o uso de dados geospaciais junto com ferramentas de processamento de imagens passou a abrir novas oportunidades, antes não disponíveis, para estudos da expansão dos sistemas de distribuição. Por exemplo, podem ser filtradas arestas que atravessam áreas como florestas, rios, áreas alagadas, reservas ambientais e áreas indígenas [15]. A Figura 3 apresenta o resultado do estudo de expansão da rede de distribuição à fronteira do Pantanal Sul-mato-grossense já considerando uma abordagem de traçado multiobjetivo geoespacial. Outra vantagem é que esses dados também subsidiam a tomada de decisão no atendimento à resolução Aneel 488/2012 [16] no tocante às limitações de atendimento pela rede convencional e tornam transparente o processo perante a sociedade e o agente regulador.

Do ponto de vista elétrico, o gerenciamento operacional de alimentadores longos pode se tornar complexo e oneroso para

as distribuidoras, pois exige a instalação de novos equipamentos de regulação de tensão e de proteção ou ainda podem gerar passivos financeiros pela má qualidade da energia fornecida aos consumidores localizados nos finais de linha. Portanto, a decisão de adicionar novos consumidores à rede não deve ser avaliada apenas sob a ótica da capacidade remanescente dos alimentadores.

No tocante à manutenção dos sistemas convencionais localizados em regiões de difícil acesso, novamente acreditamos que o modelo de reconhecimento dos custos operativos deve ser constantemente aprimorado, inclusive com o objetivo de incentivar investimentos em regiões socialmente mais afetadas do país. Portanto, fica evidente que a consolidação dessa opção de atendimento não se resolve apenas com a fase de instalação. Nesse caso, similar ao que acontece com os sistemas urbanos, deve-se planejar, em médio e longo prazo, a necessidade de fontes renováveis intermitentes ou sistemas de armazenamento de energia como complemento, seja na forma de microrredes ou sistemas individuais locais (biomassa, solar, eólica etc.) ou, conforme novos projetos de distribuidoras no país, mediante instalação de ramais rurais trifásicos e ainda com o uso de cabos protegidos (no Paraná a Copel iniciou o Projeto Paraná Trifásico com investimento estimado de R\$ 2,1 bilhões até 2025).

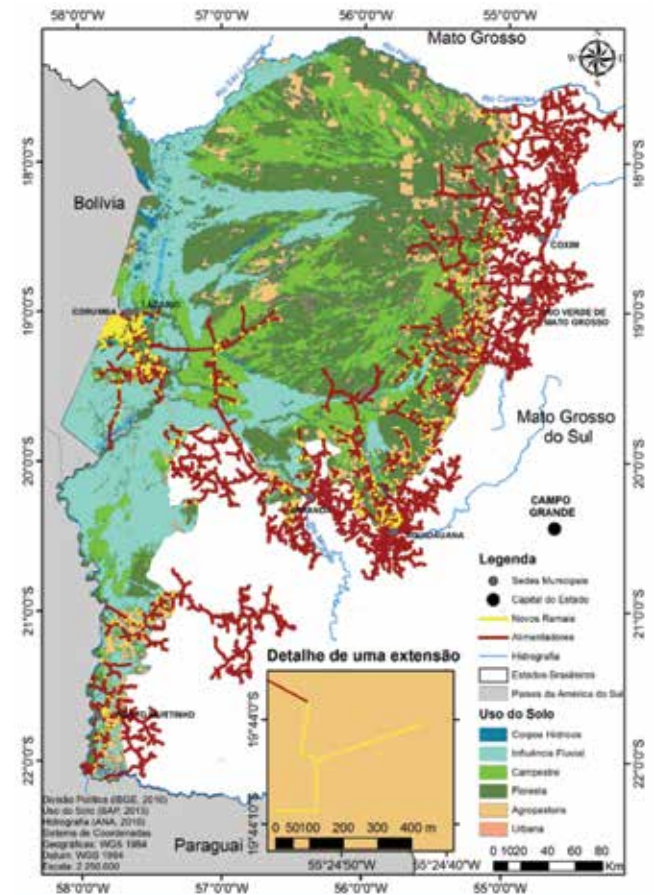


Figura 3 – Resultado da expansão da rede convencional no interior do Pantanal sul-mato-grossense considerando dados geoespaciais [15].

Microrredes

As microrredes isoladas consistem em uma ou mais fontes de energia e armazenamento não conectadas à rede convencional, que seja capaz de atender a múltiplas unidades consumidoras, por meio de uma rede de distribuição. A definição de microrrede da Aneel é mais geral e a descreve como uma “rede de distribuição de energia elétrica que pode operar isoladamente do sistema de distribuição, atendida diretamente por uma unidade de geração distribuída” [18].

Desse modo, pode-se afirmar que a sua implantação apresenta obstáculos semelhantes ao de sistemas individuais, mas com o agravante da grandeza do projeto, similar aos sistemas de distribuição convencionais. De início, o projeto de microrrede deve prever um estudo de impacto ambiental que avalie os impactos associados à implantação da microrrede e que defina a viabilidade ou não do projeto. Além disso, as restrições ambientais requerem o acompanhamento de órgãos governamentais específicos para questões ambientais - o Ibama em âmbito federal e as secretarias de cada estado. Para prosseguimento do projeto, é indispensável a aprovação deste, podendo impactar em todo o cronograma e, conseqüentemente, no custo final de instalação. Portanto, similar ao caso do estudo da expansão da rede convencional, é de muita utilidade o uso de dados geoespaciais junto com técnicas de processamento de imagens para eliminar ao máximo possíveis não factibilidades técnico-ambientais.

A nossa experiência mostra que, na etapa de projeto, dois obstáculos se destacaram. O primeiro foi a dificuldade na aquisição de equipamentos de conversão de potência, que forneçam o sinal de tensão nos padrões nacionais (127 ou 220 V em 60 Hz). Equipamentos de fabricação estrangeira nem sempre são apropriados para as condições climáticas de regiões tropicais (elevadas temperaturas e alta umidade) e dos sertões brasileiros (elevadas temperaturas e baixa umidade), por exemplo. No caso das microrredes, são necessários equipamentos de grande porte e que requerem a instalação de sistemas complementares, como ar-condicionado na sala de equipamentos, aumentando a demanda de energia do sistema.

O segundo obstáculo do projeto é na elaboração do traçado da rede, de modo a atender todas as propriedades da comunidade e consiste na alta dispersão das unidades consumidoras, o que em alguns casos impossibilita o atendimento em rede de baixa tensão, encarecendo o projeto. Como exemplo, citamos um projeto para o atendimento de 103 unidades consumidoras, em que a rede de distribuição percorre cerca de 22,7 km, resultando em perdas técnicas nominais de cerca de 4,2 %.

Normalmente, devido às microrredes serem ótimas escolhas para eletrificação em áreas de vegetação nativa, muitas vezes ainda não exploradas, a intervenção pode trazer diversas alterações para fauna e flora local, principalmente ligada à fonte de geração.

Recentemente, foram reportados impactos ambientais negativos ligados à operação de pequenas centrais hidrelétricas e centrais de geração hidrelétricas, como na qualidade da água [17] e na regulação de água para a manutenção da ictiofauna, quando as condições de secas estão presentes no país.

Ainda, durante a instalação, a dificuldade de transporte de materiais e equipamentos é algo comum de regiões remotas devido às longas distâncias e dificuldade de acesso. Essa dificuldade é agravada pela dimensão dos equipamentos, como postes, transformadores e inversores de alta potência.

Sistemas individuais de geração de energia

Em se tratando de sistemas isolados, os projetos de referência devem ser dimensionados à luz das restrições de projeto da Resolução Normativa Aneel 493/2012 [18]. Para SIGFI, seguindo a lógica da citada resolução, os projetos de referência são caracterizados por seus consumos mensais ou “disponibilidade mensal garantida”, conforme termo normativo. Sendo assim caracterizados, a premissa básica para todos os sistemas é o projeto economicamente otimizado para atendimento de sua disponibilidade mensal de energia. Os projetos de referência devem ser concebidos de forma que os recursos energéticos disponíveis no local de instalação e as soluções tecnológicas comercialmente mais maduras sejam incluídas nas alternativas, observando o balanço energético entre carga e geração. Conforme a REN 493/2012, o dimensionamento de projetos de referência típicos de sistemas SIGFI é alternativa com disponibilidade de 13, 20, 30, 45, 60 e 80 kWh/mês. Os projetos de referência, sejam eles baseados em fontes renováveis de energia ou diesel, este último no caso de MIGDI, podem ser divididos em três componentes básicos:

- Sistema de armazenamento de energia por baterias;
- Sistema de geração de energia;
- Conversores.

Dessa forma, a especificação desses sistemas deve passar pela definição de cada um dos três componentes, definindo-se sua potência, capacidade e tecnologia. Neste trabalho, foca-se no sistema de armazenamento de energia por ser a peça chave dos sistemas individuais de geração.

SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE BATERIA

A REN 493/2012 dispõe de autonomia de 48 horas para todos os sistemas isolados, seja pelos consumidores caracterizados por seus respectivos consumos de referência listados no Art. 5º, seja para consumidores cuja disponibilidade mensal garantida seja maior que 80 kWh/mês, conforme o Art. 6º. O Art. 1º apresenta as definições de autonomia e sistema de acumulação de energia,

expressões utilizadas na norma. Das definições apresentadas na citada resolução, tem-se como premissa básica de projeto de sistemas de armazenamento o dimensionamento a partir do consumo diário de referência, levando em consideração a ausência da fonte primária de energia.

Estimativas das curvas de carga para o consumo de energia são realizadas com base em pesquisas de posses e hábitos junto com modelos estatísticos para modelagem das incertezas e aleatoriedade intrínseca. Ainda é recomendável a escolha de uma metodologia para avaliação da confiabilidade dos questionários que serão aplicados [19]. Esse item é também válido no caso do projeto da fonte da microrrede.

Com o objetivo de viabilizar os projetos, foi observado que as distribuidoras incentivam a eficiência energética nos novos consumidores, por meio de cartilhas e treinamentos. Os sistemas de armazenamento por baterias têm como principal vantagem sua modularidade e facilidade de instalação. Um banco de baterias é a principal alternativa de armazenamento para sistemas baseados em fontes renováveis de energia. Contudo, sua principal desvantagem é o alto custo de aquisição e vida útil reduzida, dependendo da tecnologia e da forma de utilização do acumulador (sua vida útil varia com a temperatura de armazenamento e operação, corrente de descarga da bateria e a profundidade de descarga a qual o equipamento é submetido).

Um comparativo recente baseado em fatores de correção, a partir de ensaios de laboratório em regime acelerado de degradação, mostrou que as baterias de Lítio Ferro Fosfato (LiFePO₄) apresentam o menor custo nivelado de investimento frente a tecnologias chumbo ácidas OPzS e chumbo carbono PbC. Além disso é de relevância o conhecimento da quantificação da relação entre as vidas úteis, assim como também as medidas para estender a vida útil das baterias. Portanto, foi verificado que a faixa de operação do estado de carga para as baterias é um parâmetro importante. Por exemplo, as baterias de LiFePO₄ se beneficiam de operações em carga parcial, ao contrário das baterias chumbo ácidas [21].

Ainda é importante destacar que, além do critério regulatório de dimensionamento de baterias com 48 horas de autonomia, outro critério conhecido como a perda de probabilidade de carga, baseado no conhecimento do perfil probabilístico de demanda e geração pode ser utilizado, de forma a reduzir o custo de capital em baterias.

No tocante à manutenção e operação, diferentemente das baterias baseadas em chumbo ácido, as baterias baseadas em lítio prometem redução dos custos de manutenção e facilidade operacional intrínsecos à tecnologia e à presença do sistema de gerenciamento da bateria (BMS, na sigla em inglês), com capacidade de monitoramento das variáveis elétricas, profundidade de descarga e de temperatura.

Os custos de operação e manutenção das baterias geralmente são menores nos seus primeiros anos de vida. Por exemplo, baterias OPzS precisam de reposição de água que pode chegar a quatro vezes por ano na proximidade de final de vida útil. Entretanto, ainda não foi demonstrada a amplitude do aumento de despesas em manutenção para as baterias LiFePO₄. Portanto, devido à aplicação ser recente não se tem informação suficiente para determinar que os custos operacionais serão mesmo reduzidos. Certamente, no futuro próximo, isso estará relacionado à capacidade de nacionalização tecnológica em serviços e produtos dos fabricantes de baterias no país.

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS SIGFIS

A Aneel publica os cadastros das unidades consumidoras contempladas pelos modelos MIGDI e SIGFI em escopo nacional, de acordo com os registros provenientes das respectivas distribuidoras responsáveis. O formato dos dados agrega os resultados de qualidade de energia de cada distribuidora em base semestral, de acordo com as orientações da REN 493/2012. A Tabela 1 mostra o indicador de duração de interrupção médio por consumidor reportado para o ano de 2020 para a Coelba (com 31.897 SIGFIs) e Equatorial Pará (com 7.485 SIGFIs).

TABELA 1 – INDICADORES DE CONTINUIDADE PARA SIGFIS REALIZADOS PELA COELBA E EQUATORIAL-PA NO 2020 [20]

	<i>Duração da interrupção total (h)</i>	<i>Número de interrupções</i>	<i>Duração média (h/dia)</i>
Coelba	1.197.000	1.103	1.085,2/45,2
Equatorial-PA	5.604	124	45,2/1,9

Obviamente, a comparação não é direta entre as duas distribuidoras. Mas apenas para se ter ideia de como estão os valores de DEC realizada pela rede convencional, verificou-se que a Equatorial-PA fez, no mesmo período, 20,12 h de DEC (limite regulatório de 27,58 h) e a Coelba fez 12,44 h de DEC (limite regulatório de 14,17 h). Em termos absolutos, observam-se as disparidades entre o atendimento pela rede convencional e pelos sistemas isolados, exacerbadas pela alta dispersão dos consumidores e a extensão territorial, como o caso da Coelba. Portanto, destaca-se a importância de dados geoespaciais e de ferramentas de processamento de imagens, junto com a definição de estratégias de operação e manutenção como aliadas para programação otimizada dos recursos de operação e manutenção dos SIGFIs [21].

Esse tipo de programação considera o mapeamento de rotas entre bases e sub-bases operacionais, incorporando as limitações dos modais de transporte por tipo de rota, a exemplo da classificação realizada para o caso do Sul-mato-grossense na Figura 4. A definição dos melhores trajetos é ainda validada por dados de satélite e de campo, sendo que essas informações podem ser obtidas

das fases de instalação.

Outras informações relevantes, como as atividades de manutenção preventivas, frequência e duração média de cada atividade, são também levadas em consideração na definição do problema. Finalmente, são utilizados poderosos algoritmos de otimização para definição de trajetos, redução de custos e programação de tarefas.

Como resultado, as atividades de manutenção com base mensal e anual podem ser realizadas considerando, inclusive, imprevistos que inviabilizem manutenções programadas. Ainda o sucesso desse tipo de ferramentas depende da qualidade de dados que a distribuidora mantenha dos SIGFIs, principalmente do histórico de falhas dos equipamentos, pois realimentam o modelo de confiabilidade incorporado na ferramenta.

RECOMENDAÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS ISOLADOS DE GERAÇÃO DE FONTE FOTOVOLTAICA

O primeiro desafio verificado é a pouca manifestação de empresas habilitadas para a realização dos serviços de instalação, comissionamento e manutenção dos sistemas em regiões remotas, principalmente, devido à dificuldade de acesso e pouco conhecimento dos locais e da logística complexa, trazendo riscos para a execução dos serviços dentro dos cronogramas propostos e dentro dos recursos efetivamente planejados. Portanto, a aproximação com as comunidades, por meio de organizações representativas, tais como sindicatos, centros de capacitação e formação, é fundamental.

No âmbito da demanda, é possível que a expectativa do futuro consumidor não seja atendida de forma plena. É necessária a realização de atividades de conscientização com relação às limitações do sistema e à prática de programas de eficiência energética. Caso o controle da bateria permita maior descarga do que o parâmetro ótimo ajustado (através da tensão mínima de corte), então o aumento de demanda, não previsto pelo projeto, poderá impactar o desempenho do sistema e a vida útil das baterias.

Para auxiliar as atividades de instalação de sistemas fotovoltaicos em regiões remotas, recomenda-se a realização das seguintes atividades, de forma antecipada, na etapa de projeto:

- Levantamento das normas técnicas nacionais e internacionais referentes a sistemas fotovoltaicos e sistemas isolados e recomendações de fabricantes de equipamentos no tocante à operação, manutenção e condicionamento para o transporte;
- Avaliação da compatibilidade dos equipamentos, principalmente sistema controlador/inversor e bateria, uma vez que os sinais gerados no lado CC pelo inversor e controlador não devem reduzir a vida útil da bateria (relacionada a correntes e tensões ripple) e, ao mesmo tempo, a operação da bateria não deve provocar a atuação do sistema de proteção do inversor;

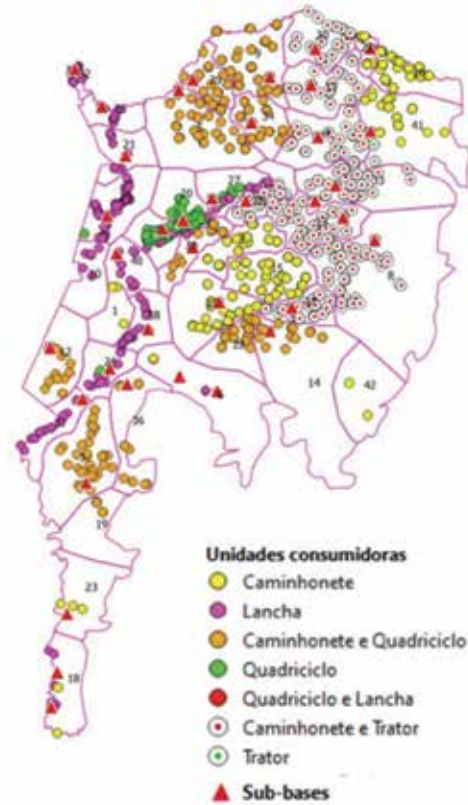


Figura 4 – Classificação das rotas por modais no Pantanal Sul-mato-grossense [21].

- Mesmo se tratando de sistemas fotovoltaicos individuais, o aterramento do sistema é fundamental para a proteção e desempenho, ao contrário de afirmações que indicam que esse aspecto inviabiliza economicamente o projeto de pequenos sistemas de geração;
- Verificação das características técnicas dos inversores, controladores de carga e painéis fotovoltaicos em relação ao esquema de aterramento indicado, segundo seja o caso, no lado de corrente contínua ou de corrente alternada;
- Análise das medidas de proteção e segurança de pessoas e animais na área de instalação do sistema fotovoltaico, avaliar a instalação de barreiras;
- Realizar atividades de conscientização dos moradores a respeito das limitações dos sistemas, assim como ações de eficiência energética.
- Garantir que o projeto estrutural esteja baseado em estudos de estabilidade de solo;
- Realização da inspeção de equipamentos previamente ao transporte para campo e de pré-montagem de elementos do sistema;
- Contratação de guias locais e experientes, com veículos adequados, assim como manter contato direto com os moradores da região para coleta de informações a respeito das condições climáticas, das rotas de acessos e dos modais de transporte;
- Levantamento das leis ambientais cabíveis e normas de transporte,

mesmo que o licenciamento não seja necessário para instalação dos sistemas individuais de geração, verificou-se a necessidade de formalização de consulta aos órgãos competentes. Considerar as restrições de podas de árvores conforme as leis dos órgãos ambientais.

CONCLUSÕES

Por meio de incentivos governamentais, a eletrificação rural pode vir a se tornar viável do ponto de vista econômico. No entanto, sob a perspectiva técnica, a implantação de sistemas de geração de energia em regiões isoladas, além da inserção de novas tecnologias, demandará o uso de ferramentas tecnológicas para apoio à gestão da operação e manutenção.

A instalação de sistemas fotovoltaicos na região do Pantanal Sul-mato-grossense, que motivou este trabalho, possibilitou uma avaliação das dificuldades vivenciadas relacionadas à implantação de sistemas remotos, sendo possível gerar recomendações para auxiliar tanto na universalização da região quanto na implantação de sistemas em diferentes localidades rurais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projeto de P&D PD-0404-1609 / 2016 proposto pela Energisa MS, no âmbito do programa de P&D da Aneel, conduzido pelo Lactec, instituto de tecnologia privado, multidisciplinar, com sede em Curitiba e filial em Salvador (BA).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Almeshqab F, Ustun T. *Lessons learned from rural electrification initiatives in developing countries: Insights for technical, social, financial and public policy aspects*. *Renew Sustain Energy Rev* 2019; 102:35-5.
- [2] Javadi FS, Rismachi B, Sarraf M, Afshar O, Saidur R, Ping HW, Rahim NA. *Global policy of rural electrification*. *Renew Sustain Energy Ver* 2013; 19:402-16.
- [3] Pinheiro G, Rendeiro G, Pinho J, Macedo E. *Rural electrification for isolated consumers: Sustainable management model based on residue biomass*. *Energy Policy* 2011; 39:6211-19.
- [4] Vernet A, Khayesi JNO, George V, George G, Bahaj AS. *How does energy matter? Rural electrification, entrepreneurship, and community development in Kenya*. *Energy Policy* 2019; 126:88-98.
- [5] Yadoo A, Gormally A, Cruickshank H. *Low-carbon off-grid electrification for rural areas in the United Kingdom: Lessons from the developing world*. *Energy Policy* 2011; 39:6400-07.
- [6] Bhattacharyya SC, Ohiare S. *The Chinese electricity access model for rural electrification: Approach, experience and lessons for others*. *Energy Policy* 2012; 49:676-87.
- [7] Van Gevelt T. *Rural electrification and development in South Korea*. *Energy Sustain Dev* 2014; 23:179-87.
- [8] Uche-Soria, M.; Rodríguez-Monroy, C. *Special regulation of isolated power systems: The Canary Islands, Spain*. *Sustainability* 2018; 10(7), 2572.
- [9] Malakar Y. *Evaluating the role of rural electrification in expanding people's capabilities in India*. *Energy Policy* 2018; 114:492-98.
- [10] International Energy Agency. *Access to electricity*. <https://www.iea.org/sdg/electricity/> [Access 25 April 2019].
- [11] O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://estatgeo.ibge.gov.br/EstatGeo2020/>; [accessed 18 April 2019].
- [12] Programa de eletrificação rural. https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp [Access 28 May 2019]
- [13] Maria F. Gómez, Semida Silveira, *Rural electrification of the Brazilian Amazon – Achievements and lessons*, *Energy Policy*, Volume 38, Issue 10, 2010
- [14] Tara Slough, Johannes Urpelainen, Joonseok Yang, *Light for all? Evaluating Brazil's rural electrification progress, 2000–2010*, *Energy Policy*, Volume 86, 2015.
- [15] LACTEC. *Elaboração de metodologia de suprimento de energia elétrica a sistemas isolados no Pantanal Sul-mato-grossense*. Final report. Brasil: Energisa, Concessionária de Distribuição; 2017 Set. R&D No.: PD-0404-1502/2015. Contract No.: 3695/2015.
- [16] ANEEL, *Resolução Normativa Nº 488, de 15 de Maio de 2012*, disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>
- [17] Da Cruz Fantin, Rúbia. *Impactos de pequenas centrais hidrelétricas com diferentes arranjos na bacia do alto São Lourenço*. Tese de Doutorado em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, 2018.
- [18] Agência Nacional de Energia Elétrica, *Resolução Normativa 493*, <http://www2.aneel.gov.br>. 2012
- [19] da Hora, H. R. M, Monteiro, G. T. R., Arica J, *Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um Estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach*. *Produto & Produção*, vol. 11, n. 2, p. 85 - 103, jun. 2010.
- [20] ANEEL - <https://www.aneel.gov.br/sistemas-isolados-e-fontes-intermitentes>
- [21] LACTEC. *Avaliação de Tecnologias de Armazenamento de Energia e de Soluções de Gerenciamento da Operação e Manutenção para Aplicação em Sistemas Isolados no Pantanal Sul-Mato-Grossense, no Estado do Mato Grosso no Sul*. Final report. Brasil: Energisa, Concessionária de Distribuição; 2021 jul. R&D No.: P&D 00404-1609/2016. Contrato No.: 4600013362.
- [22] dos Santos Pereira, G. M; Weigert, G. R.; Moraes, P. S.; Alves e Silva, K.; Segura-Salas, C. S.; de Matos Gonçalves, A. M.; do Nascimento, H. H. S., *Transport Route Planning for Operation and Maintenance of Off-grid Photovoltaic Energy Systems in the Pantanal of Mato Grosso do Sul*, 2020 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D LA), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/TDLA47668.2020.9326099.

*Crescencio Silvio Segura-Salas é graduado em engenharia mecânica-elétrica pela Universidad Nacional de Ingeniería (Peru), com doutorado em engenharia elétrica pela UNICAMP. Atualmente, é pesquisador na área de Sistemas de Elétricos no Lactec.

Pablo Lopes Macedo é graduado em engenharia elétrica pela UFPR, com Mestrado Profissional em Desenvolvimento de Tecnologia pelo Lactec. Atualmente, é pesquisador na área de Sistemas de Elétricos no Lactec.

Kiane Alves e Silva é graduada em engenharia elétrica pela UTFPR, com Mestrado Profissional em Desenvolvimento de Tecnologia pelo Lactec. Atualmente, é pesquisadora na área de Sistemas de Elétricos no Lactec.