



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2023) v. 10, n. 2, pp. 34–41
<https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n2.p34-41>

Proposta de uma análise das forças, oportunidades, fraquezas e ameaças (matriz FOFA) para o desenvolvimento de microrredes rurais híbridas
Proposal for an analysis of strengths, opportunities, weaknesses and threats (SOWT matrix) for the development of hybrid rural microgrids

Murilo Miceno Frigo^{1*}, Fernando de Lima Caneppele², Emmanuel Zullo Godinho³, Luís Fernando Soares Zuin⁴

¹ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de São Paulo – UNESP campus Botucatu, SP, Brasil

² Professor e pesquisador do Departamento de Zootecnia, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo – USP campus Pirassununga, SP, Brasil

³ Pós-doutorando, do Departamento de Zootecnia, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo – USP campus Pirassununga, SP, Brasil

⁴ Professor e pesquisador do Departamento de Zootecnia, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo – USP campus Pirassununga, SP, Brasil

*Autor para correspondência, E-mail: miceno.frigo@unesp.br

Received: 21 September 2023 | Accepted: 27 October 2023 | Published online: 28 December 2023

Resumo: Fornecer serviços de energia modernos em áreas rurais é um desafio na maioria dos países ao redor do mundo. Esse desafio se torna ainda mais complexo em países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos. Outro fator que aumenta a complexidade de oferecer serviços de energia modernos em áreas rurais são as características geográficas e ambientais. Em países de proporções continentais como o Brasil, a expansão da infraestrutura se torna mais custosa. No entanto, esses fatores geográficos podem se tornar uma vantagem competitiva ao considerar a disponibilidade de recursos naturais distribuídos. Através da análise bibliográfica, é possível levantar as possibilidades de eletrificação rural através de redes híbridas, ou seja, com mais de uma fonte de abastecimento principal. Na maioria dos estudos, o foco foi em métodos e/ou aplicação de métodos para otimização de redes. Poucas discussões sobre regulamentação e ações governamentais para microrredes foram observadas nos estudos selecionados para este estudo. Uma matriz com Pontos Fortes, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (SWOT) foi proposta de acordo com a literatura. Como conclusão, temos que as microrredes híbridas podem se tornar uma das principais alternativas para a transição energética de baixo carbono se forem implementadas de maneira estratégica, fazendo uso de recursos energéticos distribuídos, bem como resíduos orgânicos que seriam descartados na natureza e cogeração, e ainda promover o desenvolvimento regional e gerar empregos. Muitos desafios ainda estão presentes, entre eles maior força regulatória e a necessidade de desenvolver tecnologias para otimizar projetos e gerenciar microrredes de maneira inteligente, o conceito de “redes inteligentes”.
Palavras chave: análise SWOT, áreas rurais, energia renovável, sistemas híbridos, microrredes.

Abstract: Providing modern energy services in rural areas poses a significant challenge in many countries worldwide. This challenge is further intensified in developing or underdeveloped nations. The geographical and environmental characteristics of these areas further complicate the delivery of these services. In countries with continental dimensions like Brazil, expanding infrastructure is even more costly. However, these geographical factors can be turned into a competitive advantage when one considers the abundance of distributed natural resources. A literature review reveals the potential for rural electrification through hybrid networks, meaning networks powered by more than one primary source. The majority of the studies primarily focus on methods and the application of these methods for optimizing such networks. However, there were limited discussions on regulations and governmental actions concerning microgrids in the selected studies. A SWOT (Strengths, Opportunities, Weaknesses, and Threats) analysis was proposed based on the available literature. In conclusion, if strategically implemented, hybrid microgrids can emerge

as a leading solution for the low-carbon energy transition. They can harness distributed energy resources, organic waste that would otherwise be discarded, and cogeneration, all while fostering regional development and job creation. Yet, several challenges persist, such as the need for more robust regulatory frameworks and the advancement of technologies to optimize and intelligently manage these microgrids, epitomizing the concept of “smart grids”.

Keywords: hybrids, microgrids, renewable energy, rural areas, SWOT analysis.

1 Introdução

Desde a Revolução Industrial, que levou a humanidade a aumentar rapidamente seu padrão de consumo de energia, os hidrocarbonetos, principal fonte primária da era industrial, apresentaram uma oferta abundante e barata, o que em parte explica a falta de percepção de que seu uso deveria ocorrer de forma parcimoniosa. Porém, a partir da crise do petróleo na década de 1970, a humanidade passou a buscar fontes alternativas de energia. Além disso, as publicações de estudos relacionados às mudanças climáticas na década de 1980 contribuíram para despertar um consenso mundial de que a humanidade precisava modificar sua matriz energética de forma radical, movimento denominado Transição Energética (Leite, 1997; González, 2018).

Na tentativa de uma mobilização internacional para implementar medidas de mitigação e reversão desses impactos ambientais, uma série de conferências, encontros e manifestos foram realizados. Entre eles estão a Conferência da Comissão Mundial sobre o Desenvolvimento e o Meio Ambiente das Nações Unidas, que resultou na publicação do relatório “Nosso Futuro Comum”, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, ocorrida em 1992 na cidade do Rio de Janeiro, o Acordo de Paris em 2015 e a Agenda 2030, além dos objetivos da ONU, entre outros. Nesse contexto, as discussões sobre os limites e possibilidades de uma transição energética global para o baixo carbono têm ganhado relevância na mídia, na academia e nos discursos político-econômicos (Leite, 1997; González, 2018; ONU, 2015; Relva et al., 2021; Seuou et al., 2020).

Nesse mesmo sentido, o setor rural também tem experimentado transições em seu modelo de produção. Enquanto a revolução agrícola que precedeu as revoluções industriais proporcionou a monocultura, a irrigação e a implementação da força animal e mecanismos como os moinhos de vento e hidráulicos, a agricultura pós-industrial é marcada pela crescente mecanização dos processos e pela eletrificação (Smil, 2017).

A prestação de serviços modernos de energia em áreas rurais é um desafio na maioria dos países ao redor do globo. Esse desafio se complexifica nos países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos, pois, na maioria dos casos, esses países ainda não conseguiram universalizar o acesso a esses serviços. Outro fator que aumenta a complexidade da oferta dos serviços modernos de energia em áreas rurais são as características geográficas e ambientais. Em países de proporções continentais como o Brasil, a expansão da infraestrutura se torna mais onerosa. Além disso, questões ambientais como áreas de preservação ambiental, florestas, rios e acidentes geográficos trazem uma complexidade intrínseca à expansão do setor energético. Porém, esses fatores ambientais podem se tornar uma vantagem competitiva quando se leva em conta a disponibilidade dos recursos naturais distribuídos.

Os recursos energéticos no Brasil são bastante diversificados, com o país apresentando vocação para energia solar fotovoltaica, termo solar, eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e aproveitamentos modernos da biomassa em sua vasta extensão territorial. Somado a isso, a legislação/regulação tem evoluído, talvez não na velocidade que o mercado de energia espera, para a viabilização regulatória dos mais diversos empreendimentos de energia renovável, incluindo a geração híbrida e o armazenamento. Exemplo disso é a lei 14.300 de 6 de janeiro de 2022, denominada o Marco Legal da Geração Distribuída no Brasil (Brasil, 2022).

Art. 2º As concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica deverão atender às solicitações de acesso de unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com ou sem sistema de armazenamento de energia, bem como sistemas híbridos, observadas as disposições regulamentares (Brasil, 2022).

Buscando o desenvolvimento efetivo das energias renováveis nas áreas rurais, é preciso transformar a agroenergia em um vetor de desenvolvimento sustentável. A simples aplicação de uma fonte renovável, como a energia solar fotovoltaica, não garante esse processo. É necessário desenvolver inovações complementares, como o armazenamento de energia, sistemas híbridos, desenvolvimento de microrredes e/ou redes inteligentes, resposta à demanda e a implementação de modelos de negócios, arranjos produtivos

e de mercado que viabilizem a transição energética e a sustentem a longo prazo (Bley JR, 2015; Relva et al., 2021). Somado a todos esses fatores, a "aceitação" local é um fator predominante para o sucesso dos projetos de energia renovável (Posterari e Waseda, 2022).

Uma solução que tem se apresentado emergente, sobretudo em áreas com deficiência no serviço elétrico, são as "microrredes". O estudo de viabilidade das microrredes envolve variáveis como densidade populacional, recurso energético primário, disponibilidade de rede já existente, questões geográficas, socioculturais, desenvolvimento de tecnologias e difusão tecnológica (Seuwou, et al., 2020 Bley Jr, 2015). No Cenário Brasileiro, algumas barreiras regulatórias levantadas pelo mercado nacional de energias renováveis vêm sendo derrubadas. Duas alterações recentes trazem a definição e começam a estabelecer critérios para a implementação das microrredes. O Marco Legal da Geração Distribuída, estabelecido pela Lei 13.300 de 06 de janeiro de 2022, define o conceito de microrrede como: (Rosa, 2022; Brasil, 2022).

Microrrede: integração de vários recursos de geração distribuída, armazenamento de energia elétrica e cargas em sistema de distribuição secundário capaz de operar conectado a uma rede principal de distribuição de energia elétrica e de forma isolada, controlando os parâmetros de eletricidade e provendo condições para ações de recomposição e de auto restabelecimento; (Brasil, 2022).

As microrredes possuem como vantagem a independência dos sistemas de distribuição interligados convencionais e a possibilidade de um melhor aproveitamento dos potenciais locais de recursos energéticos naturais renováveis. Isso resulta na diminuição da necessidade de ampliação das redes de distribuição de energia, permitindo o atendimento mais rápido de comunidades isoladas e, por consequência, a ampliação da oferta dos serviços modernos de energia. Além disso, as microrredes refletem globalmente uma maior sustentabilidade para a produção rural e o setor de energia. Dessa forma, as microrredes fazem mais sentido quando abastecidas por recursos energéticos distribuídos e renováveis, alinhando-se com a transição energética para o baixo carbono.

Neste contexto que este trabalho propõem uma análise das Forças”, “Oportunidades”, “Fraquezas” e “Ameaças” (FOFA) para o desenvolvimento das microrredes e suas aplicações na energização rural brasileira, através de uma revisão bibliográfica e documental, de característica narrativa. Ao final da pesquisa uma matriz FOFA é apresentada como síntese.

2 Metodologia

Neste trabalho optou-se por utilizar como metodologia principal a análise da matriz FOFA (forças, oportunidades, fraquezas e ameaças), a matriz FOFA é a versão em língua portuguesa da matriz SWOT (*strengths, weaknesses, opportunities e threats*) que é uma ferramenta versátil amplamente utilizada para simplificar a apresentação de informações e análise de cenários no contexto do levantamento dos riscos, oportunidades e a viabilidade de projetos. Na matriz FOFA as projeções futuras de oportunidades e ameaças (riscos) são elaboradas com base nas competências atuais através da estimativa das forças e fraquezas. As forças sinalizam aptidões que podem gerar oportunidades e as fraquezas sinalizam os possíveis riscos e as competências a serem desenvolvidas (Quiceno, et al, 2019, Damasceno e Yolanda, 2018).

A análise FOFA é indicada para estudos qualitativos de vantagem competitiva (Botão, et al., 2023). Podendo a análise agregar um caráter quantitativo quando algum método quantitativo auxiliar é agregado à metodologia (Sacco et al., 2022). A Figura 1 traz a representação gráfica da matriz FOFA.

	Fatores Internos	Fatores Externos
Pontos fortes	FORÇAS	OPORTUNIDADES
Pontos fracos	FRAQUEZAS	AMEAÇAS

Figura 1. Matriz FOFA. Fonte: Autores (2022).

Para a determinação da matriz foi realizado uma pesquisa bibliográfica e documental de característica narrativa. A pesquisa bibliográfica teve como objetivo levantar o estado da técnica das *microgrids*, tanto

no cenário nacional, quanto internacional, incluindo estudos de caso e análises de viabilidade de projetos. A principal base de busca foi a SCOPUS usando como palavras-chave, “microgrid”, “hybrid” e “rural AND áreas”, foram separados os artigos de pesquisa e revisões sistemáticas limitadas entre os anos de 2012 e 2022. Finalmente como trata-se de uma revisão narrativa a seleção final dos artigos foi realizada pelos autores de forma a formarem a base conceitual necessária para elaboração da Matriz FOFA.

Além da revisão bibliográfica foram analisados documentos referentes a regulação brasileira do setor elétrico. Finalmente uma síntese dos resultados é apresentada na Matriz FOFA.

3 Revisão de literatura

Estudos recentes (Ferrer-Martí et al., 2013; Singh, Singh e Kaushik, 2016 e Kamal e Ashraf, 2022) apontam que perspectiva de uma futura escassez dos recursos fósseis favorece o desenvolvimento das energias renováveis. Neste contexto as soluções de microrredes híbridas podem ser alternativas tecnológicas para agregar a esse desenvolvimento características técnicas e econômicas que viabilizem as fontes renováveis, sobretudo em sistemas isolados, onde a falta de suporte das redes de transmissão e distribuição de energia, ameaçam a confiabilidade do fornecimento da energia elétrica. Em muitos casos a “firmeza” da rede elétrica isolada é fornecida por um sistema de geração a diesel, porém (Singh, Singh e Kaushik, 2016 e Ahmad, et al., 2018), afirmam que existe uma oportunidade para a energia de biomassa como o biodiesel, biogás, entre outras, com destaque para países em desenvolvimento que possuem vocação agrícola. Para Ahmad, et al., (2018) o custo de um sistema atendido com biomassa pode ser 40% menor do que uma microrrede atendida a diesel, com base no estudo realizado pelos autores. Finalmente Singh, Singh e Kaushik (2016) e Ferrer-Martí, et al., (2012), complementam que os principais desafios para o desenvolvimento das microrredes híbridas são os custos envolvidos e a confiabilidade do sistema, dessa forma os autores estão buscando modelos de otimização para os projetos de microrredes. Ferrer-Martí (2013), sugere ainda que uma boa alternativa para aumentar a confiabilidade das microrredes é a utilização da energia microhidráulica.

Wlas et al. (2022), abordou uma aplicação de microrrede para atender uma pequena indústria rural conectada a um alimentador rural na Polônia. Com foco no Sistema de Gerenciamento da Energia (SGE), os autores concluíram que sistemas atendidos a gás natural, com sistema de cogeração apresentam uma vantagem na confiabilidade e tem sido amplamente utilizado, tanto para aumentar a confiabilidade de sistemas de energia renovável, quanto para cogeração de energia.

Kamal e Ashraf (2022) estabeleceram um modelo de viabilidade técnico e econômica com base em um sistema híbrido utilizando as fontes eólica, solar, diesel e armazenamento. Na região de Uttarakhand, Índia, conforme informado pelos pesquisadores uma região remota do país. Assim como Wlas et al. (2022) os autores apontam que essa modalidade de sistema é vantajosa para comunidades afastadas das redes elétricas e possuem a vantagem de poder operar de forma ilhada.

Além disso Kamal e Ashraf (2022), bem como González et al. (2018), concluíram que caracterização social, geográfica e ambiental é de extrema importância para a expansão da oferta de energia, os autores apontam que a região de Uttarakhand apesar de ser uma região de baixo desenvolvimento social tem experimentado um aumento significativo do consumo energético per capita, além disso características geográficas locais, por ser uma área extensa e montanhosa, dificultam a expansão da infraestrutura de energia, porém a disponibilidade de ventos e radiação solar é uma boa oportunidade para a expansão das energias renováveis.

Para Sarkar et al. (2019) o acesso ininterrupto a energia elétrica é uma necessidade, porém conforme González et al., (2018) em muitos países menos desenvolvidos parte da população não acessa esse serviço ou ainda apesar de terem acesso a eletrificação, trata-se de um acesso a uma “rede fraca”, ou seja, não confiável. As microrredes seriam uma solução para aumentar a confiabilidade do acesso a eletrificação. Fato também apontado por Singh (2016) e Ferrer-Martí (2012). Finalmente Sarkar et al. (2019) aponta que as microrredes inteligentes, de uma forma geral, possuem viabilidade para áreas isolada com retorno de investimento (TIR) satisfatório. Mazzola (2016) e Ayodele et al. (2019) também sinalizam para a viabilidade econômica das microrredes, sobretudo quando há uma otimização eficiente da gestão da demanda (GLD). Os autores apontam reduções de 19% no Custo Nivelado da Energia (LCOE) quando implementada a geração fotovoltaica junto à geração diesel nas microrredes, e redução de 38% no LCOE quando adição de biomassa de madeira florestal. Além disso os autores apontam, no seu estudo, que foi possível uma a participação de 95% de fontes renováveis na microrrede.

Ranaboldo et al. (2014) fez um estudo comparativo, para o arquipélago de Cabo Verde, que segundo os autores, apesar da disponibilidade de recursos solar e eólico, tem optado pela aplicação de grupos

geradores a diesel para a eletrificação de áreas rurais isoladas. Os autores apontam para a redução dos custos de eletrificação nas áreas onde a disponibilidade do recurso eólico é mais vantajoso.

Mazzola (2022) acredita que as microrredes híbridas desempenharão papel importante nas futuras expansões do acesso a eletricidade em países em desenvolvimento e que estratégias de inteligência na predição de curvas de carga e de geração devem reduzir os custos desses sistemas e dar firmeza a penetração de fontes intermitentes, estratégias que ainda não tem sido amplamente utilizada.

Singh (2016) e Ferrer-Martí (2012) bem como González et al. (2018) afirmam que os altos custos e incertezas envolvidos nos projetos de micro redes híbridas com alta penetração de renováveis afastam os investimentos, em especial em países em desenvolvimento.

Para Suman, Guerrero e Roy (2021), o projeto de uma microrrede eficiente depende do equilíbrio entre, tamanho, relação custo-benefício e confiabilidade dos sistemas. Os autores apontam a existência de um tradeoff entre o Custo da Eletricidade (CE) e a Probabilidade de Deficiência de Fornecimento de Energia (PDFE). Os autores utilizaram os parâmetros de CE de 0,17 \$/kWh um PDFE de 93%, com 93% de participação de energias renováveis.

Kaur et al. (2020) analisou o uso de biomassa a partir de resíduos agrícolas integrada com a geração fotovoltaica para eletrificação rural a partir de microrredes. Os autores apontaram a viabilidade econômica desses sistemas bem como a vantagem ambiental em se aproveitar resíduos. Os autores concluíram também que sistemas que operam de forma conectada a rede possuem maior viabilidade e que as microrredes podem ser vetores de desenvolvimento local e geração de empregos.

Williams et al (2018) apontam a escassez de capital como a principal ameaça ao desenvolvimento das microrredes, fator que é intensificado pela percepção de risco do setor privado devido a falta de análises quantitativas de riscos. Os autores concluíram que a volatilidade do preço do combustível, a demanda incerta de eletricidade e o risco cambial para investimentos em moeda forte são os principais fatores de risco. Além disso a escolha da tecnologia aplicada influencia fortemente o risco dos projetos, sendo que por exemplo sistemas fotovoltaicos tem maior risco relacionado à simultaneidade entre oferta e demanda, já os grupos a diesel ficam mais vulneráveis a variação do preço do combustível. Sistemas híbridos tendem a mitigar parcialmente esses riscos.

Finalmente os estudos de Smith et al. (2015) sinalizam pela necessidade de se realizar um minucioso estudo de otimização das variáveis da análise de ciclo de vida (ACV) das microrredes a fim de realmente se alcançar o menor impacto. Segundo os autores nem sempre o aumento da penetração de renováveis é a alternativa mais sustentável de um ponto de vista mais holístico. Por exemplo, aumentar significativamente o uso de energia fotovoltaica, que é energeticamente intensiva na produção das placas e demais componentes, pode ser do ponto de vista da ACV menos sustentável que fazer a otimização da rede com o auxílio de grupos geradores diesel, que são mais versáteis para otimização da relação carga/geração, porém esses são mais poluentes na operação e geram contaminação local. Os autores concluem que devem ser consideradas as potencialidades sociais dos diferentes arranjos de rede e a ACV deve ser levada em consideração, bem como a priorização dos benefícios locais versus globais também devem ser verificados.

4 Resultados

Através da análise bibliográfica pode-se levantar que existem diversos desafios e oportunidades para a aplicação de microrredes híbridas na eletrificação rural. Dentre os autores analisados, todos consideram a possibilidade de eletrificação rural por meio de redes híbridas, ou seja, com mais de uma fonte primária de abastecimento. Na maioria dos trabalhos, o foco recai sobre os métodos e/ou aplicações desses métodos para a otimização da rede. Por otimização, entende-se o equilíbrio entre as variáveis de restrição e as funções-objetivo desejadas. Os principais fatores envolvidos são o atendimento à carga, as restrições de carga, as restrições de rede, a otimização dos sistemas de armazenamento, a otimização da aplicação de baterias químicas e a otimização (ou mitigação) do uso de diesel, seja como fonte principal ou auxiliar. A otimização das microgrids também busca o aumento da penetração de renováveis, mitigação na emissão de Gases Causadores do Efeito Estufa bem como diminuir o custo por kWh gerado.

Pouco se observou nos trabalhos selecionados para esse estudo discussões sobre regulação e ações governamentais para as microrredes. A regulação é um importante vetor para o desenvolvimento ou bloqueio do desenvolvimento de novas tecnologias no setor de energia.

Finalmente uma matriz com as Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças (FOFA) foi proposta de acordo com a literatura e é apresentada no Quadro 1.

	Fatores Internos	Fatores Externos
Pontos Fortes	FORÇAS: aproveitamento de resíduos agrícolas; aproveitamento de potencial energético distribuído; mitigação de gases causadores do efeito estufa; aumento da viabilidade econômica; redução de custos e/ou fonte de renda	OPORTUNIDADES: aumento do custo do petróleo; escassez dos recursos fósseis; redução de custos operacionais; aumento da confiabilidade das redes elétricas; promoção do desenvolvimento local; preço horário; mudanças regulatórias.
Pontos Fracos	FRAQUEZAS: complexidade dos sistemas híbridos; necessidade de armazenamento a baterias; falta de estratégias consolidadas de projetos e otimização; falta de análises quantitativas de risco.	AMEAÇAS: expansão da rede elétrica; oscilações negativas do preço da eletricidade; oscilações negativas do preço dos combustíveis fósseis; indisponibilidade de recursos naturais; escassez de recursos financeiros; falta de regulação

Quadro 1. Matriz FOFA para microrredes híbridas em áreas rurais. Fonte: Autores (2022).

5 Conclusões

As microrredes híbridas podem se tornar uma das principais alternativas para a transição energética de baixo carbono. Se implementadas de forma estratégica fazem o aproveitamento dos recursos energéticos distribuídos, bem como de resíduos orgânicos que seriam descartados na natureza e cogeração, além de promover o desenvolvimento regional e gerar empregos.

Muitos desafios ainda se fazem presentes, dentre eles uma maior solidez regulatória e a necessidade de se criar e difundir tecnologias para otimização de projetos e gestão das microrredes de forma inteligente, conceito de “smart grids”.

Além disso o mercado de investimento necessita de segurança de informações para que possa balizar os riscos financeiros, as microrredes rurais são por natureza soluções extremamente específicas, dependem das condições geográficas ambientais, de especificações de carga, arranjos de ocupação do território, arranjos produtivos, localização em relação a redes de abastecimento elétrico, de combustíveis, modais de transporte entre outros.

É justamente por isso que se fazem necessários trabalhos que visitem o estado da técnica e auxiliem na produção e difusão do conhecimento.

Referências bibliográficas

Ahmad, J, Imran, M, Khalid, A, Iabal, W, Asheaf, SR, Adnan, M, Ali, SF and Khokhar, SK (2018) ‘Techno economic analysis of a wind-photovoltaic-biomass hybrid renewable energy system for rural electrification: A case study of Kallar Kahar’, *Energy*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.133>

Altawell, N (2020) ‘Rural Electrification: Optimizing Economics, Planning and Policy in an Era of Climate Change and Energy Transition’, *Acad. Press is an Impr. Elsevier*, pp. 1–282. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822403-8.01001-8>.

Ayodele, E, Misra, S, Damasevicius, R and Maskeliunas, R (2019) ‘Hybrid microgrid for microfinance institutions in rural areas – A field demonstration in West Africa’, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.06.009>

Bley, Jr C (2015) ‘Biogás: a energia invisível’, *CIBiogás-ER.*, (12232131), pp. 48–50.

Botão, RP, Costa, HKM, Nishida, JCC, Miranda, MF e Santos, EM (2023) ‘Análise SWOT aplicada em projeto de geração de energia tendo como fonte o gás natural diante das possibilidades de expansão da demanda por GNL no contexto do mercado do gás’, *Revista Brasileira de Energia*, SBPE, 29(1), pp. 32-

45. Available at: [10.47168/rbe.v29i1.715](https://doi.org/10.47168/rbe.v29i1.715). Accessed on: 05 de junho de 2023

Brasil (2022) Lei Nº 14.300, de 06 de Janeiro de 2022. Available at: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>

Damasceno, VS e Yolanda, VA (2018) ‘Avaliação da energia eólica no Brasil utilizando a análise SWOT e PESTEL’, *Interações*, Campo Grande, MS, 19(3), pp. 503-514. Available at: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v19i3.1649>. Accessed on: 18/04/2022.

González, AL, Domennec, B and Martí, LF (2018) ‘Sustainability and design assessment of rural hybrid microgrids in Venezuela’, *Energy Magazine*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.165>

Kamal, Md M and Ashraf, I (2022) ‘Planning and Optimization of hybrid microgrid for reliable electrification of rural region’, *J. Inst. Eng. India Ser. B*, 103, pp. 173–188. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40031-021-00631-4>

Kaur, M, Dhundhara, S, Verma, YP, Chauhan, S (2020) ‘Techno-economic analysis of photovoltaic-biomass-based microgrid system for reliable rural electrification’, *Electrical Energy Systems*, Willy. Available at: <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12347>

Leite, AD (1997) ‘A energia do Brasil’. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira.

Martí, LF, Domenech, BGV and Pastor, R (2013) ‘A MILP model to design hybrid wind–photovoltaic isolated rural electrification projects in developing countries’, *European Journal of Operational Research*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.11.018>

Mazzola, S, Astolfi, M and Macchi, E (2016) ‘The potential role of solid biomass for rural electrification: A techno economic analysis for a hybrid microgrid in India’, *Applied Energy*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.051>

Mazzola, S, Vergara, C, Astolfi, M, Li, V, Arriaga, IP and Macchi, E (2017) ‘Assessing the value of forecast-based dispatch in the operation of off-grid rural microgrids’, *Renewable Energy*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.040>

ONU (2015) ‘Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development’, United Nations, General Assembly. Available at: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Accessed on: 01 dez. 2019.

Posterari, JB and Waseda, T (2022) ‘Wave Energy in the Pacific Island Countries: A New Integrative Conceptual Framework for Potential Challenges in Harnessing Wave Energy’, *Energie*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.3390/en15072606>

Quiceno, G, Álvarez, C, Ávila, R, Fernández, Ó, Franco, CJ, Kunc, M, and Dyner, I (2019) ‘Scenario analysis for strategy design: A case study of the Colombian electricity industry’, *Energy Strategy Reviews*, Elsevier, 23, pp. 57-68. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.12.009>. Accessed on: 22 de abril de 2022.

Ranaboldo, M, Lega, BD, Ferrenbach, DV, Martí, LF, Moreno, RP and Villoria, AG (2014) ‘Renewable energy projects to electrify rural communities in Cape Verde’, *Applied Energy*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.043>

Relva, SG, Silva, VO, Gimenes, ALV, Udaera, MEM, Ashworth, P and Peyerl, D (2021) ‘Enhancing developing countries transition to a low-carbon electricity sector’, *Energy – The International Journal*, Elsevier, 220. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119659>. Accessed on: 01 de outubro de 2021.

Rosa, C, Coimbra, M, Barbosa, P, Chantre, C e Rosental, R (2022) ‘Microrredes: benefícios e desafios para o setor elétrico brasileiro’, *GESEL, Grupo de Estudos do Setor Elétrico da UFRJ*, Rio de Janeiro. Available at: http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/10_Rosa_2022_02_02.pdf. Accessed on: 28 de março de 2022.

Sacco, RL, Brito, TLF, Santos, EM e Matai, PHLS (2022) ‘Unconventional Sources Of Gaseous Energy In The Southern Region Of Brazil: A Comparative Swot Analysis’, *Revista Brasileira de Energia*, SBPE, 28(2), pp. 86-112. Available at: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/677>. Accessed on: 01 de fevereiro de 2023.

Sarkar, T, Bhattacharjee, A, Samanta, H and Bhattacharya, SH (2019) ‘Optimal design and implementation of solar PV-wind-biogas-VRFB storage integrated smart hybrid microgrid for ensuring zero loss of power supply probability’, *Elsevier*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.04.025>

Singh, S, Singh, M, and Kaushik, SC (2016) ‘Feasibility study of an islanded microgrid in rural area consisting of PV, wind, biomass and battery energy storage system’, *Energy Conversion and Management*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.046>

Smil, V (2017) ‘Energy and civilization a history’, *The MIT Press*, Cambridge, Massachusetts; London, England.

Smith, C, Burrows, J, Scheier, E, Young, A, Smith, J, Young, T and Gheewala, S (2015) ‘Comparative Life Cycle Assessment of a Thai Island's diesel/PV/wind hybrid microgrid’, *Renewable Energy*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.003>

Suman, GS, Guerrero, JM and Roy, OP (2021) ‘Optimisation of solar/wind/bio-generator/diesel/battery based microgrids for rural areas: A PSO-GWO approach’, *Sustainable Cities and Society*, Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102723>

Williams, NJ, Jaramillo, P and Taneja, J (2018) ‘An investment risk assessment of microgrid utilities for rural electrification using the stochastic techno-economic microgrid model: A case study in Rwanda’, *Energy for Sustainable Development*, Elsevier, 42, pp. 87-96. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.09.012>

Wlas, M, Galla, S, Kouzou, A and Kplodziejek, P (2022) ‘Analysis of an Energy Management System of a Small Plant Connected to the Rural Power System’, *Energies*. Available at: <https://doi.org/10.3390/en15030719>. Accessed on: 23 de junho de 2022.