UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

AVALIAÇÃO DE FATORES CRÍTICOS NA INTEGRAÇÃO DE FONTES INTERMITENTES DE ENERGIA EM SISTEMAS ISOLADOS

Documento assinado digitalmente
Daniel Odilio dos Santos
Data: 17/06/2021 18:10:22-0300
CPF: 085.374.339-85
Verifique as assinaturas em https://v.ufsc.br

DANIEL ODILIO DOS SANTOS

Documento assinado digitalmente
Helena Flavia Naspolini
Data: 17/06/2021 18:06:22-0300
CPF: 289.588.109-04
Verifique as assinaturas em https://v.ufsc.br

ORIENTADORA: HELENA FLAVIA NASPOLINI

FLORIANÓPOLIS

2021

i. Contextualização do problema a ser pesquisado

O Brasil possui o maior sistema interligado de energia controlado por um operador centralizado do mundo (Sistema Interligado Nacional - SIN), porém algumas localidades brasileiras possuem dificuldades geográficas de conexão nessa rede centralizada. Frente a isso, o Brasil possui 212 sistemas isolados, formando o denominado SISOL.

Tradicionalmente, estes sistemas isolados são atendidos predominantemente por UTEs diesel (RIBEIRO et al., 2012; ASENSIO; CONTRERAS, 2014). Estes geradores apresentam baixo custo inicial de implantação, além de certa facilidade em seu projeto, instalação e descomissionamento, sendo prática a realocação dos geradores para outra localidade após o término de contratos de fornecimento. A logística de transporte de combustível diesel também é facilitada em relação a outras fontes de energia termelétrica, como carvão e gás natural.

Entretanto, os sistemas isolados estão usualmente situados a longas distâncias de centros de distribuição e em regiões que possuem obstáculos geográficos naturais (relevo, vegetação e hidrografia) e uma infraestrutura de transporte deficiente, fatores que encarecem o fornecimento de óleo diesel, resultando em um custo elevado para a geração de energia. A equipe de operação e manutenção (O&M) necessária para o funcionamento destas UTEs também é um custo fixo elevado que encarece esta fonte de energia. Adicionalmente, existe ainda um impacto ambiental e social atrelado à emissão de gases de efeito estufa na atmosfera e ao ruído dos geradores de UTEs.

Em suma, o suprimento de eletricidade nos sistemas isolados, realizado nos moldes tradicionais, é extremamente dependente de uma fonte de energia não renovável e não disponível junto aos pontos de consumo, além de possuir elevados custos de operação e manutenção (PINHO et al., 2008; SOARES, 2008; ELETROBRAS, 2014; SALAS et al., 2015; HIGUERA, 2017).

Nos últimos anos, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) começou a incentivar a adoção de soluções alternativas na tentativa de reduzir o consumo de diesel para geração de eletricidade em sistemas isolados. Simultaneamente, houve um declínio significativo nos custos de equipamentos fotovoltaicos (FV) e de sistemas de armazenamento de energia (SAE) na última década, resultado da produção em grande escala, de inovações tecnológicas e de incentivos governamentais (BHATTACHARYYA; PALIT, 2016; KAVLAK, 2018; GOLDIE-SCOT, 2019). A combinação desses acontecimentos vem favorecendo a implantação de usinas híbridas FV+diesel, FV+bateria+diesel ou FV+bateria para o suprimento de sistemas isolados, tornando-as cada vez mais competitivas nesse ambiente (RÜTHER et al.,

2000; RÜTHER, 2003; ABREU et al., 2003; BEYER et al., 2003; COLLE et al., 2004; GONZÁLEZ et al., 2018).

Esse projeto de pesquisa visa avaliar os fatores críticos na utilização de fontes intermitentes de geração de energia elétrica nos sistemas isolados além de apresentar estratégias passivas para o aumento da penetração de tais fontes nestes sistemas e avaliar a utilização de sistemas de armazenamento de energia junto com geração de energia fotovoltaica complementando a geração a diesel.

ii. Revisão Bibliográfica

A ONU defende que ~~em~~ até 2030 seja concretizado o acesso amplo e universal à eletricidade. Essa meta está presente no "Sustainable Development Goal 7" (SDG 7). Em 2018 cerca de 90% da população mundial possuía algum acesso a eletricidade. (ESMAP, 2019).

As comunidades situadas em regiões remotas possuem a maior dificuldade de utilização de energia elétrica, principalmente em países em desenvolvimento. Todavia nessas localidades usa-se sistemas isolados, normalmente composto por geração termoelétrica a diesel, como alternativa para a inviabilidade técnica e financeira de conexão à rede elétrica centralizada. (BHATTACHARYYA; PALIT, 2016; IEA, 2018; ESMAP, 2019).

De acordo com a Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), a grande maioria destas minirredes isoladas usa usinas termoelétricas a diesel como fonte principal de energia, seguida por sistemas hidroelétricos e híbridos FV+diesel (KAVLAK, 2018; ELSHURAFA et al., 2018).

A inserção de sistemas renováveis utilizando geradores fotovoltaicos tem uma crescente inserção nos sistemas isolados, tendo como fator predominante o constante declínio dos custos dos sistemas de geração fotovoltaico. Portanto pode-se observar a incidência de mais projetos com aplicação de geração solar fotovoltaica para suprir a demanda por eletricidade de comunidades isoladas. (ESMAP, 2019).

A diversidade bioclimática do Brasil proporciona uma análise ampla de configurações energéticas. O Brasil possui o maior sistema integrado de energia controlado por um operador centralizado do mundo, porém o norte brasileiro possui dificuldades geográficas de conexão nessa rede centralizada. Frente a isso, o Brasil ainda possui 212 sistemas isolados, formando o denominado SISOL, com carga média de 475 MW. A Figura 1 apresenta a localização dos sistemas isolados brasileiros (ONS, 2020).

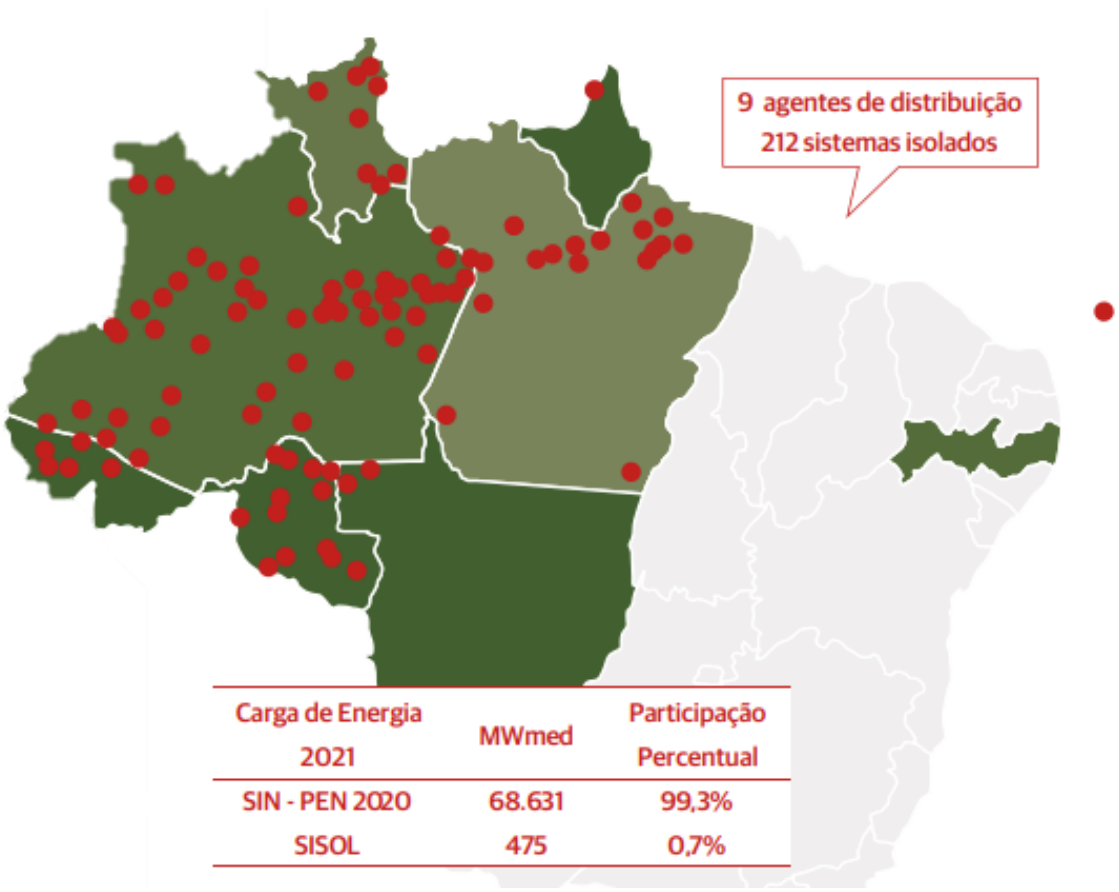


Figura 1 - Localização e carga de energia total dos sistemas isolados (SISOL) brasileiros (ONS, 2020).

Os sistemas isolados são localizados na região amazônica, com exceção do sistema localizado na Ilha de Fernando de Noronha – PE. Observando a localização geográfica dos sistemas isolados, se faz possível analisar a viabilidade do uso de recurso energético a partir de fontes renováveis.

A matriz energética do SISOL é composta, em sua maioria, por usinas termelétricas a diesel; justificado pelo baixo custo inicial de implantação e por ser uma tecnologia completamente dominada na região. As dificuldades geográficas da região adicionada a infraestrutura de transporte precária incidem em problemas de logística de entrega de combustível elevando os custos de operação dessas unidades termelétricas. (SOARES, 2008; PINHO et al., 2008; HIGUERA, 2017; ONS, 2019a; ONS, 2019b).

O correto dimensionamento de usinas híbridas (FV+diesel, FV+bateria+diesel e FV+bateria) depende principalmente do recurso solar disponível, ou seja, das características da irradiância local, as quais devem ser analisadas ainda na fase de projeto, visto que a intermitência do recurso solar é um dos principais desafios para substituição ou integração FV às usinas termelétricas em redes elétricas isoladas.

Um sistema sobredimensionado aumenta desnecessariamente o custo de implantação e, dependendo da configuração adotada, pode gerar problemas de estabilidade da rede. Por outro lado, um sistema subdimensionado pode ocasionar problemas de confiabilidade no suprimento de energia para a minirrede (MOSCARDINI JR; RÜTHER, 2020). Portanto, a avaliação criteriosa do recurso solar disponível é fundamental para o sucesso no desenvolvimento de projetos, simulações, análises de viabilidade técnica e financeira de usinas FV.

Existem diversos métodos para mapeamento da irradiação solar. Consensualmente, a métrica mais adequada é utilizar séries históricas medidas por uma rede de estações meteorológicas, regularmente calibradas. Desta forma é possível avaliar o comportamento do recurso solar disponível para uma determinada região com maior nível de precisão. No entanto, a aplicação desta metodologia requer elevados custos de instalação, manutenção, transmissão de dados e desenvolvimento dos modelos matemáticos necessários para estimar o recurso solar disponível a partir dos dados disponíveis. Outro método amplamente utilizado para elaboração de mapas de irradiação é a interpolação ou extrapolação de medidas *in loco*, através da aplicação de métodos estatísticos ou geoestatísticos dos valores de irradiação solar a partir de medições em solo. No entanto, a amplitude dos erros na avaliação desses dados depende da densidade da rede de estações solarimétricas disponível (SARMIENTO et al., 2019).

A maioria dos bancos de dados de irradiação solar são compostos por meio de medições de satélites geoestacionários validados posteriormente por estações solarimétricas em solo. O uso de satélites geoestacionários propicia a aplicação de modelos matemáticos para o cálculo da transferência radiativa na atmosfera, conduzindo a estimativas precisas da radiação solar horizontal global incidente na superfície da Terra e sua variabilidade temporal e espacial, podendo ser empregados no dimensionamento de usinas FV, especialmente em locais sem estações de medição de radiação solar e histórico de medições de irradiação solar a longo prazo (GRANTHAM et al., 2017; ANAND et al., 2018; MOSCARDINI JR, 2020). Esta metodologia é uma excelente ferramenta para coletar dados de radiação solar, especialmente em países com grandes extensões territoriais (PORFIRIO; CEBALLOS, 2017; MILLER et al., 2018; SARMIENTO et al., 2019; MOSCARDINI JR, 2020).

Existem diversos métodos consolidados pela comunidade científica, alguns empregados comercialmente, para elaboração de bancos de dados de radiação solar através de imagens de satélites conforme evidenciado em Cebecauer e Suri (2015); Huang et al. (2019). A maioria destes bancos de dados são compostos por imagens de satélites meteorológicos com resoluções temporais de 30 minutos a 1 hora e espaciais de 10 x 10 km até 1 x 1 km (HUANG et al., 2019; MOSCARDINI JR, 2020). As principais vantagens destes bancos de dados solarimétricos são

possuir extensas séries históricas e uma resolução espacial fixa. No entanto, os dados provenientes de observações em solo são significativamente mais precisos se os instrumentos forem devidamente calibrados, mantidos e avaliados em conformidade com as melhores práticas (YANG; GUEYMARD, 2019).

Atualmente, o emprego de satélites de última geração produz imagens com resolução temporal de 2,5 a 10 minutos e resolução espacial de até 0,25 x 0,25 km. O aumento da resolução das imagens, resultado do avanço tecnológico aeroespacial, proporciona dados mais precisos e com menores incertezas associadas. Estes satélites entraram em operação recentemente, portanto possuem uma base de dados pequena para composição das séries históricas (HUANG et al., 2019; MOSCARDINI JR, 2020).

A penetração energética de geração fotovoltaica pode ser definida como a quantidade de energia produzida pelo sistema fotovoltaico pela quantidade total de energia fornecida para a minirrede num período temporal. A penetração de potência é dada pela razão entre a potência nominal do sistema fotovoltaico e a máxima demanda histórica medida. (YAMEGUEU et al., 2011; LÉNEA et al., 2012).

A estabilidade da minirrede e a confiabilidade do sistema é primordial para o correto dimensionamento de uma rede hibrida (fotovoltaica + diesel ou fotovoltaica + armazenamento + diesel), pois não há a figura da rede para dar suporte a carga em eventos de instabilidade. Um dos maiores desafios para o dimensionamento de usinas hibridas é a penetração de potência fotovoltaica de modo a não comprometer a estabilidade da minirrede. (YAMEGUEU et al., 2011; KARIMI et al., 2016)

Os fatores principais que influenciam o nível de penetração de potência de geração fotovoltaica numa minirrede hibrida são: Dimensionamento da potência da usina fotovoltaica; nível de irradiância incidente no plano dos módulos; influência das nuvens em variações repentinas de geração fotovoltaica; comportamento da carga da comunidade; carregamento mínimo de trabalho dos grupos geradores a diesel; tempo de acionamento de novos grupos geradores a diesel para atendimento da carga. Elevados níveis de penetração sem sistemas de controle integrados entre o sistema fotovoltaico e o sistema a diesel podem resultar em problemas na estabilidade do fornecimento de energia elétrica (SALAS et al., 2015; YAMEGUEU et al., 2013).

Segundo a literatura, a penetração típica de geradores FV em sistemas isolados não automatizados varia entre de 10% a 20% (LAVE; STEIN; ELLIS, 2012;SHIVASHANKAR et al., 2016; RÜTHER et al., 2003). Contudo, existem estratégias passivas que podem ser

utilizadas em sistemas isolados não automatizados que buscam reduzir a variabilidade instantânea da energia solar, possibilitando o aumento na máxima penetração.

A hibridização de termelétricas isoladas através da implantação de usinas fotovoltaicas centralizadas facilita as ações de controle da estabilidade da rede; porém a torna ~~se~~ mais propensa a variações bruscas de geração devido a sombreamentos provocados pela movimentação de nuvens sobre o arranjo fotovoltaico. Com sistemas espalhados geograficamente, a passagem de nuvens irá sombrear os diferentes subsistemas em momentos diferentes, reduzindo as variações abruptas na geração fotovoltaica como um todo. O objetivo é suavizar a curva resultante de potência total do sistema fotovoltaico, pois um espalhamento em área tende a descorrelacionar os eventos de nuvem nos sistemas FV da minirrede (MURATA; YAMAGUCHI; OTANI, 2009;WEIGL et al., 2012;MARCOS et al., 2012;LAVE; STEIN; ELLIS, 2012). Para que este efeito seja observado, é necessário que os subsistemas fotovoltaicos estejam geograficamente separados por uma distância suficiente para que os eventos de sombreamento por nuvens possam ser considerados não correlatos entre as múltiplas localidades. Esta distância pode variar de acordo com a geografia e as condições climáticas locais. Em MARCOS et al. (2012), uma distância de 6 km entre usinas apresentou ~~este~~ comportamento de descorrelação entre dados solarimétricos. Logo é fundamental que um levantamento detalhado deva ser realizado nas comunidades de modo a avaliar a possibilidade de tal distribuição geográfica dos sistemas.

É importante destacar que, em um dia sem nuvens, os subsistemas FV dispersos apresentam a mesma curva de geração fotovoltaica total que apenas um sistema fotovoltaico centralizado, sendo que neste caso esta estratégia não traria benefícios para o sistema. Esta estratégia visa mitigar somente eventos de instabilidade causados variações abruptas de irradiação no sistema (KLIMA; APT, 2015.SANTIAGO et al., 2016)

Além disso a instalação de sistemas fotovoltaicos de forma distribuída contribui com a redução das perdas de energia ao longo da rede de distribuição, entretanto o controle da geração visando à manutenção da estabilidade do sistema híbrido é mais complexo.

Outro ponto a ser considerado no dimensionamento de usinas híbridas é o valor do carregamento mínimo de operação dos grupos geradores diesel pois, quando operam em condições de baixo carregamento, apresentam elevado consumo de combustível e podem sofrer eventos de instabilidade parando seu funcionamento. (BARING-GOULD; DADO, 2009; LOPES et al., 2012)

Mesmo com o emprego de estratégias mitigatórias, ainda haverá momentos com variações intensas de geração fotovoltaica e momentos em que ocorrerá geração fotovoltaica

demasiada em minirredes híbridas fotovoltaica +diesel. Nessa situação pode ocorrer que um único gerador diesel em operação tenha seu carregamento reduzido, resultando em aumento de consumo específico dos geradores e eventual instabilidade do gerador diesel, o que gera insegurança no uso de sistemas híbridos fotovoltaico+diesel e limita a penetração da energia solar fotovoltaica em sistemas isolados. Para aumentar a penetração de potência fotovoltaica e a confiabilidade de sistemas híbridos, é possível limitar remotamente a geração fotovoltaica através da limitação da potência de saída dos inversores, que pode ser realizada por sistemas automatizados disponíveis no mercado.

Em um sistema automatizado, o carregamento dos geradores diesel é monitorado constantemente e, caso esse carregamento fique abaixo de um valor especificado, os inversores fotovoltaicos recebem sinal de um controlador central para que a potência seja reduzida e o sistema mantenha a estabilidade. Nos casos em que ocorrem reduções abruptas da geração fotovoltaica, os geradores diesel em operação devem ter capacidade de manter a rede em operação enquanto outros geradores rapidamente são conectados e começam a assumir carga. Para tal, a UTE deve ser capaz de identificar a redução na geração fotovoltaica e imediatamente transferir carga para os demais geradores.

Alguns fabricantes de inversores fotovoltaicos possuem produtos que proporcionam a integração e automação desses sistemas. O fabricante SMA possui o sistema *Fuel Saver Solution*® que a partir de um controlador acoplado ao inversor consegue minimizar eventos de instabilidade na minirrede. Adicionalmente, esse sistema possibilita a integração com sistemas de armazenamento eletroquímico. O *Fuel Saver Solution*® é comercialmente disponível e já opera em diversos sistemas, com destaque para sistemas nas ilhas do Caribe, para os quais o fabricante possui um estudo de caso (SMA,2021). O fabricante Fronius possuiu um sistema similar, denominado *PV-Genset Solutions*®. A solução Fronius funciona como um controlador da minirrede, otimizando a curva de saída dos inversores FV de modo a manter o sistema estável. Essa solução também é comercialmente disponível, destacando-se a aplicação em Zimbabwe, disponível no site da Fronius (Fronius,2021). O fabricante Ingeteam, possui um sistema similar, denominado INGECON® HYBRID MS. A solução Ingeteam gerencia uma minirede elétrica trifásica a partir da inserção de fontes renováveis priorizando o uso de sistemas de armazenamento, entretanto é possível conectar um sistema de geração termoelétrica como referência e backup do sistema. A fabricante disponibiliza no site um exemplo de aplicação nas Ilhas Galapagos. (Ingeteam,2021).

Em termoelétrica à diesel associada a geradores fotovoltaicos, um sistema de armazenamento eletroquímico pode ser utilizado de modo a absorver quaisquer oscilações de

potência, sejam provenientes de variações de demanda ou da geração fotovoltaica. Os tempos de resposta dos inversores e retificadores (PCS – *Power Converter System*) associados aos sistemas de armazenamento são da ordem de milissegundos, permitindo que variações abruptas de potência não sejam refletidas nos geradores diesel. Adicionalmente, o uso de um sistema de armazenamento permite que a energia fotovoltaica gerada durante o dia possa ser utilizada para suprir a carga no período noturno, aumentando a penetração energética dos sistemas.(BARTOLUCCI et al., 2018; DA PONTE; CALILI; SOUZA, 2021; MA; XUE; LIU, 2018; RÜTHER et al., 2003)

É importante ainda destacar que para a análise de sistemas híbridos com bateria, assim como para sistemas automatizados, a limitação técnica passa a ser um problema secundário, enquanto o real fator limitante passa a ser a viabilidade econômica destes sistemas para o atendimento da localidade com maior penetração de energia renovável. Acredita-se que a produção em escala de baterias de íons de lítio e os avanços tecnológicos no desenvolvimento desta tecnologia devem resultar em reduções significativas no custo de sistemas de armazenamento de energia, adicionalmente à redução de 90% no preço de baterias de íons de lítio já observada na última década (IRENA,2019).

Os avanços dos sistemas computacionais e plataformas CAE *(Computer Aided Engineering)* aumentaram significativamente a capacidade de processamento permitindo a implementação de simuladores fotovoltaicos incluindo análise e modelagem de layout em ambiente 3D, cálculos de geração de energia e de viabilidade financeira, simulações de sombreamento entre outras análises. O incremento e ou aprimoramento destas funcionalidades nos simuladores fotovoltaicos tornou o processo de dimensionamento de usinas mais fidedigno e ágil. Todavia, a metodologia utilizada para geração sintética dos dados meteorológicos, particularmente os dados de irradiação solar, é o destaque para esse tipo de software pois influencia significativamente a expectativa de geração de energia elétrica (JAKICA, 2018; PABASARA et al., 2019). Dentre as ferramentas de simulação, as mais populares são o PVsyst® e o HOMER Energy®, sendo o PVsyst® usado geralmente para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, enquanto o HOMER Energy® é especializado no dimensionamento de sistemas para fornecer eletricidade a minirredes isoladas.

iii. Objetivos da dissertação

Objetivo geral:

Apresentar os fatores críticos na integração de fontes intermitentes de energia elétrica em sistemas isolados e apresentar soluções visando o ~~de~~ aumento da penetração energética de fontes renováveis de energia elétrica em sistemas isolados;

Objetivos específicos:

- **Analisar os sistemas isolados no Brasil;**
- **Estudar as fontes de energia renováveis que tenham viabilidade a serem integradas nos sistemas isolados;**
- **Apresentar estratégias passivas e ativas de aumento de penetração energética oriundas de fontes intermitentes de energia elétrica;**
- **Apresentar sistemas de armazenamento com geração solar fotovoltaica integrados ao sistema isolado;**
- **Obter a otimização econômica dos sistemas híbridos (Diesel + Armazenamento + Fotovoltaica) nos sistemas isolados;**
- **Discutir os impactos climáticos oriundos da inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados.**

iv. Descrição dos materiais e métodos a serem utilizados

Materiais a serem utilizados:

- Base de dados do Planejamento ONS- SISOL;
- Base de dados EPE – SISOL;
- Fontes de dados solarimetricos:
    - Atlas Solar;
    - Meteonorm;
    - Nasa;
    - Solargiz;
- Dados de demanda disponibilizados pela ANEEL para os leiloes de sistemas isolados;
- Referencias do UNFCCC para estudos de impactos climáticos coma redução de consumo de carbono.
- Softwares:
    - Pacote office®

- PVSyst
- Homer Pro®

Métodos

- Avaliação das fontes de dados de irradiação solar na região amazônica comparando as diferentes fontes de dados e apresentando as diferenças entre elas;
- Avaliação das comunidades integrantes ao SISOL através dos relatórios da EPE e ONS buscando caracterizá-las geograficamente e analisar o perfil de consumo de energia elétrica dessas comunidades. Buscar por meios estatísticos uma comunidade que seja representativa para a realidade do SISOL para realizar um estudo de caso que possa ser expandido de forma fácil no SISOL.
- Avaliação e caracterização do funcionamento atual da comunidade exemplo.
- Caracterizar eventos de instabilidade das minirredes através do modo operante dos geradores termoelétricos a diesel.
- Propor métodos passivos e ativos para diminuir os eventos de instabilidade propondo o aumento de penetração de potência fotovoltaica no sistema.
- Simular diferentes características de sistemas fotovoltaicos através do software PVSyst® visando analisar os eventos de instabilidade para diferentes patamares de penetração de potência fotovoltaica.
- Simular diferentes conjuntos de sistemas híbridos fotovoltaico + armazenamento + diesel analisando as penetrações de energia do sistema e os eventos de instabilidade.
- Simular diferentes conjuntos de sistemas híbridos através do software Homer Pro® buscando a melhor otimização econômica para o sistema avalizando a sensibilidade dos custos dos sistemas.
- Analisar os impactos climáticos usando as metodologias proposta pela UNFCCC proporcionados pela inserção de geração proveniente de fontes renováveis ao sistema.

v. Cronograma de realização do trabalho de dissertação

Atividades	Prazos									
	jun 2021	jul 2021	ago 2021	set 2021	out 2021	nov 2021	dez 2021	jan 2022	fev 2022	mar 2022
Estudo do estado da arte referente a sistemas isolados, utilização de geração proveniente de fontes intermitentes, sistemas de armazenamento de energia.	■									
Análise do SISOL – Características geográficas e de consumo de energia elétrica das comunidades		■								
Análise de fontes intermitentes de geração de energia elétrica integradas a realidade do SISOL.		■	■							
Análise dos softwares de simulação de sistemas isolados.			■							
Simulação e análise de estratégias de aumento de penetração de fontes intermitentes de geração de energia no SISOL.			■	■	■					
Simulação de integração de sistemas de armazenamento junto a fontes intermitentes de geração de energia nos sistemas isolados				■	■	■				
Análise de viabilidade econômica de integração de sistemas de armazenamento integrados a energia solar fotovoltaica nos sistemas isolados.						■	■			
Otimização econômica da integração de sistemas de armazenamento integrado a energia solar fotovoltaica em sistemas isolados							■			
Análise de redução de emissões de gases de efeito estufa provenientes da redução de consumo de diesel com a utilização de sistemas híbridos nos sistemas isolados.							■	■		
Elaboração da dissertação						■	■	■		
Finalização da dissertação e elaboração da apresentação.								■		
Defesa da dissertação									■	
Correções e incrementos sugeridos na defesa da dissertação.									■	
Entrega da dissertação no repositório UFSC.										■

Referências bibliográficas

ASENSIO, M.; CONTRERAS, J. Impact of demand response in an isolated system with high PV penetration. 2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). Anais...IEEE, set. 2014Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6934605/>

ANAND, M., RAJAPAKSE, A.D., BAGEN. B. Analysis of the Quality of Long-term Synthetic Solar Radiation Data Generated from Stochastic Models. IEEE International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS). 2018. https://doi.org/10.1109/PMAPS.2018.8440560.

BARING-GOULD, I., DADO, I. Technology. Performance. and Market Report of WindDiesel Applications for Remote and Island Communities. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2009. Disponível em: https://www.nrel.gov/docs/fy09osti/44679.pdf. Acessado em: 04 dez. 2019

BARTOLUCCI, L. et al. Hybrid renewable energy systems for renewable integration in microgrids: Influence of sizing on performance. Energy, v. 152, p. 744–758, 2018.

BHATTACHARYYA, S. C., PALIT. D. Mini-grid based off-grid electrification to enhance electricity access in developing countries: What policies may be required? Energy Policy 94. 166—178., 2016. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.010.

DA PONTE, G. P.; CALILI, R. F.; SOUZA, R. C. Energy generation in Brazilian isolated systems: Challenges and proposals for increasing the share of renewables based on a multicriteria analysis. Energy for Sustainable Development, v. 61, p. 74–88, 2021.

ELSHURAFA, A. M., ALBARDI, S., BIGERNA, S., BOLLINO, C. A Estimating the learning curve of solar PV balance-of-system for over 20 countries: Implications and policy recommendations. Journal of Cleaner Production. 2018; 196: 122-134. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.016.

ESMAP. Energy Sector Management Assistance Program. Technical report 014/19. Mini grids for half a billion people: Market Outlook and Handbook for decision makers. June 2019. https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/31926/Mini-Grids-forHalf-a-Billion-People-Market-Outlook-and-Handbook-for-Decision-Makers-ExecutiveSummary.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

GRANTHAM, P., PUDNEY, P.J., WARD, L.A., BELUSKO, M., BOLAND, J.W. Generating synthetic five-minute solar irradiance values from hourly observations. Sol Energy 2017; 147:209-221, 2017. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.026.

HUANG, G., LI, Z., LIANG, S., YANG, K., WANG, D., ZHANG, Y. Estimating surface solar irradiance from satellites: Past. present. and future perspectives. Remote Sensing of Environment 233. 111371, 2019. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111371.

IEA. International Energy Agency. World Energy Outlook 2018. Disponível em: https://www.iea.org/energyaccess/. Acessado em: 12 jun. 2021.

IRENA. Off-Grid Solar Market Trends Report 2020, adapted from: Logan Goldie-Scot, “A Behind the Scenes Take on Lithium-Ion Battery Prices,” BloombergNEF (blog), March 5, 2019, https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/

JAKICA, N. State-of-the-art review of solar design tools and methods for assessing daylighting and solar potential for building-integrated photovoltaics. Renew Sustain Energy Rev 81. 1296-1328, 2018. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.080.

KARIMI, M., MOKHLIS, H., NAIDU, K., UDDIN, S., BAKAR, A. H. A. Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network – A review. Renew Sustain Energy Rev 53. 594-605, 2016. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.042.

KAVLAK, G., MCNERNEY, J., TRANCIK, J. E. Evaluating the causes of costs reduction in photovoltaic modules. Energy Policy. 2018; 123: 700-710. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.015.

KLIMA, K.; APT, J. Geographic smoothing of solar PV: Results from Gujarat. Environmental Research Letters, v. 10, n. 10, 2015

KLIMA, K.; APT, J. Geographic smoothing of solar PV: Results from Gujarat. Environmental Research Letters, v. 10, n. 10, 2015.

LAVE, M.; STEIN, J. S.; ELLIS, A. Analyzing and simulating the reduction in PV powerplant variability due to geographic smoothing in Ota City, Japan and Alamosa, CO. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, v. 2, n. PART 2, 2012.

LAVE, M.; STEIN, J. S.; ELLIS, A. Analyzing and simulating the reduction in PV powerplant variability due to geographic smoothing in Ota City, Japan and Alamosa, CO. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, v. 2, n. PART 2, 2012.

LÉNEA, G. Rural Electrification with PV Hybrid Systems – Overview and Recommendations for Further Deployment. IEA – International Energy Agency, 2013

LOPES, L. A. C., KATIRAEI, F., MAUCH, K., VANDENBERGH, M., ARRIBAS, L. PV Hybrid mini-grids: Applicable Control Methods for Various Situations. International Energy Agency (IEA), 2012.

MA, W.; XUE, X.; LIU, G. Techno-economic evaluation for hybrid renewable energy system: Application and merits. Energy, v. 159, p. 385–409, 2018.

MARCOS, J. et al. Smoothing of PV power fluctuations bygeographical dispersion. PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS, v. 20, n. 6, p. 226–237, 2012

MARCOS, J. et al. Smoothing of PV power fluctuations bygeographical dispersion. PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS, v. 20, n. 6, p. 226–237, 2012.

MILLER, S. D., ROGERS, M.A., HAYNES, J.M., SENGUPTA, M. Short-term solar irradiance forecasting via satellite/model coupling. Solar Energy 2018; 168: 102-117. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.049.

MOSCARDINI, E. F.; RÜTHER, R. The influence of the solar radiation database and the photovoltaic simulator on the sizing and economics of photovoltaic-diesel generators. Energy Conversion and Management. V 210, p. 112737, 2020.

MURATA, A.; YAMAGUCHI, H.; OTANI, K. A method of estimating the output fluctuation of many photovoltaic power generation systems dispersed in a wide area. Electrical Engineering in Japan (English translation of Denki Gakkai Ronbunshi), v. 166, n. 4, p. 9–19, 2009.

MURATA, A.; YAMAGUCHI, H.; OTANI, K. A method of estimating the output fluctuation of many photovoltaic power generation systems dispersed in a wide area. Electrical Engineering in Japan (English translation of Denki Gakkai Ronbunshi), v. 166, n. 4, p. 9–19, 2009.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Consolidação da previsão da carga para o plano anual da operação energética dos sistemas isolados. PEN SISOL 2020 – PEN SISOL 2020. Rio de Janeiro. 2019b. Disponível em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/NT%20ONS%200087-2019_Consolida%C3%A7%C3%A3o%20da%20Carga%20do%20SISOL_PEN%20SISOL%202020.pdf. Acesso em: 03 mai. 2020

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados para 2020 - PEN SISOL 2020 (Rio de Janeiro – Brasil), 2019a. Disponivel em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/DPL-REL0248-2019%20-%20PEN%20SISOL%202020.pdf; 2019. Acesso em: 28 de fev. 2020.

ONS. PEN SISOL 2021. Plano anual da operação energética dos Sistemas Isolados para 2021. Sumário Executivo. 1a Edição: outubro de 2020. p. 1–26, 2020.

ONS. PEN SISOL 2021. Plano anual da operação energética dos Sistemas Isolados para 2021. Sumário Executivo. 1a Edição: outubro de 2020. p. 1–26, 2020.

PABASARA, W.M., WIJERATNE, U., YANG, R.J., TOO, E., WAKEFIELD, R. Design and development of distributed solar PV systems: Do the current tools work? Sustainable Cities and Society 45. 553-578, 2019. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.035.

PINHO, J. T., BARBOSA, C. F. O., PEREIRA, E. J. S., SOUZA, H. M. S., BLASQUES, L. C. M., GALHARDO, M. A. B., MACÊDO, W. N. Sistemas híbrido. Soluções energéticas para a Amazônia: tecnologias de energias renováveis. Ed. 1. (Brasília – Brasil), 2008. ISBN 978-85-98341-02-6. Disponível em: https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hibrido.pdf. Acessado em: 19 abr. 2019

PORFIRIO, C.S.A., CEBALLOS, J.C. A method for estimating direct normal irradiation from GOES geostationary satellite imagery: Validation and application over Northeast Brazil. Solar Energy 2017; 155: 178-190. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.096.

RIBEIRO, L. A. D. S. et al. Making isolated renewable energy systems more reliable. Renewable Energy, v. 45, p. 221–231, 2012.

RÜTHER, R. et al. Cutting on Diesel, boosting PV: The potential of hybrid Diesel/PV systems in existing mini-grids in the Brazilian Amazon. Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, v. C, p. 2620–2623, 2003.

RUTHER, R.; MONTENEGRO, A. DE A.; BEYER, H. G.; SCHMID, A. L.; OLIVEIRA, S. H. F. Cutting on diesel, boosting pv: the potential of hybrid diesel / pv systems in existing

mini-grids in the brazilian amazon. In: 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (30th IEEE Photovoltaic Specialists Conference), 2003, Osaka, Japan. Conference records of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (30th IEEE Photovoltaic Specialists Conference). Osaka: IEEE, 2003. p. 1753-1756

SALAS, V., SUPONTHANA, W., SALAS, R. A. Overview of the off-grid photovoltaic diesel batteries systems with AC loads. Applied Energy 157. 195–216, 2015. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.07.073.

SANTIAGO, I. et al. Influence of photovoltaic installation angles and geographical dispersion in the smoothing of photovoltaic fleet power fluctuations. EEEIC 2016 - International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2016.

SANTIAGO, I. et al. Influence of photovoltaic installation angles and geographical dispersion in the smoothing of photovoltaic fleet power fluctuations. EEEIC 2016 - International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2016.

SARMIENTO, N., BELMONTE, S., DELLICOMPAGNI, P., FRANCO, J., ESCALANTE. K., SARMIENTO, J. A solar irradiation GIS as decision support tool for the Province of Salta. Argentina. Renew Energy 2019; 132: 68-80. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.081.

SHIVASHANKAR, S. et al. Mitigating methods of power fluctuation of photovoltaic (PV) sources - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 59, p. 1170–1184, 2016.

SHIVASHANKAR, S. et al. Mitigating methods of power fluctuation of photovoltaic (PV) sources - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 59, p. 1170–1184, 2016.

SOARES, M. Y. Avaliação do desempenho dos sistemas isolados no estado do Amazonas a partir de um estudo de caso: município de Uairini (AM). Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

WEIGL, T. et al. Modelling and validation of spatial irradiance characteristics for localised irraddiance fluctuations and enhancements. Proc. of PVSEC 2012, p. 3801–3804, 2012.

YAMEGUEU, D., AZOUMAH, Y., PY, X., KOTTIN, H. Experimental analysis of a solar PV/diesel hybrid system without storage: Focus on its dynamic behavior. Renew Energy. 2013; 44:267-274. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.07.027.

YAMEGUEU, D., AZOUMAH, Y., PY, X., ZONGO, N. Experimental study of electricity generation by Solar PV/diesel hybrid systems without battery storage for off-grid areas. Renew Energy. 2011; 36:1780-1787. https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.11.011.

YANG, D., GUEYMARD, C.A., 2019. Producing high-quality solar resource maps by integrating high- and low-accuracy measurements using Gaussian processes. Renew Sustain Energy Rev 2019; 113: 109260. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.075