UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS GUILHERME LOS

APLICAÇÃO DE OTIMIZADORES PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA EM SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE REDES DE ENERGIA ELÉTRICA

PONTA GROSSA

2024

LUCAS GUILHERME LOS

APLICAÇÃO DE OTIMIZADORES PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA EM SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE REDES DE ENERGIA ELÉTRICA

Application of optimizers to improve efficiency in power grid transmission systems

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Joaquim de Mira Júnior

PONTA GROSSA

2024

4.0 Internacional

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUCAS GUILHERME LOS

APLICAÇÃO DE OTIMIZADORES PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA EM SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE REDES DE ENERGIA ELÉTRICA

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 06/junho/2024

_____

Joaquim De Mira Junior
Titulação Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____

Marcella Scoczynski Ribeiro Martins
Titulação Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____

Edison Luiz Salgado Silva
Titulação Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2024

Dedico este trabalho à DEUS, minha família,
minha esposa, filha, pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus por me manter firme honrando Sua lei e Suas ordenanças. Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Joaquim De Mira Junior, pela boa disposição e parceria com que me guiou nesta trajetória.

A Secretaria do Curso, pela cooperação e colaboração para construção da minha formação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio. Principalmente a minha esposa e filha em quem me inspiro e onde eu busquei, busco e buscarei energias para sempre lutar.

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Este trabalho propõe a simulação e a otimização de sistemas de redes de energia elétrica usando a plataforma MATLAB. O foco são as redes de transmissão, considerando os dados dos barramentos e as conexões entre os barramentos. O objetivo principal é reduzir as perdas de energia na rede, buscando uma configuração ideal que promova a eficiência energética e a qualidade da energia. O estudo envolve a modelagem da rede elétrica e o cálculo das perdas elétricas na rede. Além disso, é considerada a presença de geradores na rede, que são vistos como fontes de ajuste da qualidade da linha de transmissão. Para otimizar a rede elétrica, são aplicadas metodologias de otimização, incluindo Giza Pyramids Construction (GPC), MRFO e Arch OA. Após a otimização, os resultados são analisados, com foco na redução das perdas elétricas e na eficiência da solução. Representações gráficas dos resultados são obtidas para demonstrar claramente a distribuição de energia entre as linhas em p.u. Em resumo, este trabalho tem como objetivo avançar no campo das simulações de sistemas de redes elétricas, fornecendo informações valiosas sobre estratégias de otimização para melhorar a eficiência e a confiabilidade das redes de transmissão de energia.

Palavras-chave: Simulação; Otimização, Rede elétrica; Eficiência energética.

ABSTRACT

This work proposes the simulation and optimization of power grid systems using the MATLAB platform. The focus is on transmission networks, considering bus data and connections between buses. The main objective is to reduce energy losses in the network, seeking an optimal configuration that promotes energy efficiency and power quality. The study involves modeling the electrical network and calculating the electrical losses in the network. In addition, the presence of generators on the grid is considered, which are seen as sources of transmission line quality adjustment. To optimize the power grid, optimization methodologies are applied, including Giza Pyramids Construction (GPC), MRFO and ArchOA. After optimization, the results are analyzed, with a focus on reducing electrical losses and the efficiency of the solution. Graphical representations of the results are obtained to clearly demonstrate the distribution of energy between the lines in p.u. In summary, this work aims to advance the field of power grid system simulations by providing valuable information on optimization strategies to improve the efficiency and reliability of power transmission networks.

Keywords: Simulation; Optimization; Power grid; Energy efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de otimização "Gyza Pyramids Construction" 14
Figura 2 - Diagrama de otimização "Archimedes Optimization Algorithm" 15
Figura 3 - Diagrama de otimização "Manta Ray Foraging Optimization". 17
Figura 4 - 58-BUS Otimizado pelo otimizador MRFO 25
Figura 5 - 58-BUS Otimizado pelo otimizador GPC 26
Figura 6 - 58-BUS Otimizado pelo otimizador ArchOA 27

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**9**
1.1	**Objetivos**	**11**
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	12
2	**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**	**13**
2.1	**Materiais**	**18**
2.2	**Metodologia**	**19**
3	**DESENVOLVIMENTO, SIMULAÇÕES**	**21**
4	**RESULTAD**	**24**
4.1	**Resultado Atual**	**24**
4.2	**Perspectivas Futuras e Desafios a Serem Superados**	**27**
5	**CONCLUSÃO**	**30**
	REFERÊNCIAS	**31**
	ANEXO A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998	**33**

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de buscarmos a eficiência energética é um tema que a muito tempo é discutida. Várias propostas modelos e muita ciência foi desenvolvida envolvendo este tema geral. Mais recentemente tivemos mudanças e definições de modelos tidos como ideias e que entregaram de fato muito resultado, porém com o aumento de dados obtidos através de cada processo e detalhe dos modelos e padrões de consumo já podemos abordar a criação de estruturas lógicas que tratem de forma automáticas os dados e apresentem de forma satisfatória comparações e otimizações que gerem resultados quase que em tempo real. Por isso proponho o estudo e a aplicação de otimizadores para melhoria da eficiência em sistema de transmissão de redes de energia elétrica.

Segundo A. H. Halim et al (2021) afirmaram que à medida que a demanda por eletricidade aumenta, é fundamental desenvolver sistemas mais modernos e inteligentes para gerenciar a transição. A otimização heurística e meta-heurística está se tornando muito popular [1]. Da mesma forma, a otimização é fundamental para garantir um fornecimento contínuo de energia. Portanto, este ensaio discutirá vários métodos de otimização aplicáveis a sistemas de transmissão de energia, com foco em algoritmos de otimização meta-heurística, que se baseiam em observações do comportamento da natureza. Para E. Esenogho et al (2022), os novos sistemas inteligentes e cada vez mais modernos são uma resposta à crescente necessidade de eficiência e sustentabilidade. Esses fatores são possíveis graças a tecnologias incorporadas, como redes inteligentes e sistemas de armazenamento de energia [2]. A transição para sistemas de energia mais modernos e inteligentes é uma resposta à necessidade de maior eficiência e sustentabilidade. Esses sistemas incorporam tecnologias avançadas, como as redes inteligentes e os sistemas de armazenamento de energia [2].

Além de tratarmos a energia como fonte de subsistência temos que tratar da importância da eficiência energética. Pois além da importância de administrar esse recurso precisamos saber se ele está sendo bem usado. Observando isso, K. Kwon et al (2022) afirmaram que o uso da inteligência artificial (IA) para melhorar a eficiência energética, por exemplo, através da automação residencial, modela e parametriza os padrões de consumo de energia, resultando em uma economia estimada de cerca de 14% [3].

Devido a essa movimentação de pesquisa foram criados modelos para previsão e gerenciamento da demanda de energia. Para N. Ngo et al (2022) a previsão da demanda de eletricidade é fundamental para o planejamento e a operação do sistema de eletricidade. Modelos como o Wolf-Inspired Optimized Support Vector Regression (WIO-SVR) foram desenvolvidos para prever o consumo de energia em edifícios [4].

Sabendo desse frenesi por modelos matemáticos e necessidade eminente de tratamento dos dados começaram a implementar algoritmos meta-heurísticos na Otimização Energética. Os algoritmos meta-heurísticos desempenham um papel fundamental na otimização dos sistemas de armazenamento de energia. Eles imitam comportamentos naturais, esses modelos de otimização que buscam imitar as formas observadas na natureza de otimização têm se apresentado como modelos decisórios para melhor entendimento das otimizações já encontradas naturalmente na natureza. Exemplos como a busca de alimentos por lobos ou o movimento de partículas em enxames. Esses métodos são cada vez mais populares devido à sua capacidade de encontrar soluções quase ideais para problemas complexos.

O campo da otimização tem evoluído significativamente nos últimos anos, impulsionado pela crescente demanda por sistemas de energia mais eficientes e inteligentes. Por isso exploraremos os desafios enfrentados na otimização de sistemas de armazenamento de energia e os avanços proporcionados por algoritmos meta-heurísticos. Por isso a complexidade dos sistemas depende de múltiplas variáveis, como baterias ligadas a um sistema de armazenamento de energia, fontes de energia renovável e sua intermitência, a oscilação da demanda de energia e a eficiência de conversão. Encontrar soluções ótimas para esses sistemas é um desafio computacionalmente intenso.

A modelagem precisa dos componentes do sistema, como baterias, painéis solares e veículos elétricos, seriam dados cruciais para obter resultados confiáveis. Erros na modelagem poderiam levar a decisões subótimas ou até mesmo a conclusões irrealistas. Por isso vários fatores que influenciam na qualidade do sinal de energia elétrica devem estar mapeados e disponibilizados para a montagem do modelo de transmissão e distribuição elétrica.

A incerteza na disponibilidade de recursos renováveis (como a luz solar e o vento) e a variabilidade na demanda de energia tornam a otimização mais complexa. Como lidar com essas intermitências é um desafio importante para definir a

acuracidade do modelo. Sendo assim é se faz necessário a modelagem e definição de modelos para que o sistema simulado se aproxime ao máximo da realidade da malha elétrica.

Claro que sistemas de Armazenamento de Energia e Geração Distribuída entre outras variáveis do sistema de transmissão podem afetar drasticamente os modelos definidos como para X. Li, and S. Wang (2021), os sistemas de armazenamento de energia são essenciais para garantir um fornecimento contínuo de energia. A segurança desses sistemas é considerada para evitar acidentes durante a produção [5]. Além de garantir o fornecimento de eletricidade e trazer qualidade e confiabilidade aos sistemas elétricos, a crescente demanda por eletricidade é um ponto crucial de atenção. Com a crescente presença de carros elétricos e geração distribuída, o comércio de eletricidade peer-to-peer (P2P) está sendo discutido. A incerteza da disponibilidade de veículos elétricos (EV) pode ser modelada usando a simulação Monte Carlo. Isso permitiu que os pesquisadores R. Lia S. e Saeid Nahaei (2022) demonstrassem que tanto as soluções ideais quanto as robustas eram aceitáveis com base no nível real de incerteza no preço da eletricidade [6].

Por isso trouxemos esse estudo de caso e as aplicações práticas dele para modelo de transmissão elétrica no estado do paraná. O código MATLAB pode facilmente demonstrar a aplicação do algoritmo Grey Wolf Optimization (GWO) para otimizar sistemas de distribuição de energia elétrica. O objetivo é minimizar as perdas de energia e melhorar o perfil de tensão. Para A. H. Halim et al (2021) os resultados mostram que o Giza Pyramids Construction (GPC) supera outros otimizadores, mas a inserção de novos dispositivos de armazenamento deve ser cuidadosamente avaliada em termos de custos [1].

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o funcionamento da metodologia de validação, verificação e otimização de linhas de transmissão. Encontrar uma malha que apresente a soma agregada do sistema elétrico de potência em PU mais próximo do valor 1 (ideal).

1.1.2 Objetivos Específicos

Definir um modelo de dados com base nos dados da ONS para que o modelo se aproxime dos valores reais presentes na malha do estado do paraná. Estabelecer um modelo de tratamento de dados para que o modelo ao final aponte os resultados de interconexões das subestações (SS). Tratar os dados de potência ativa e reativa e as fórmulas dos modelos de otimização para considerar a presença de pontos de geração distribuída na malha de transmissão de energia elétrica. Definir um modelo de priorização de ramos e estruturas já estabelecidas para diminuir o custo da instalação. Definir de as cargas de cada cidade que está ligado as subestações seriam dados de entrada para o modelo matemático ou não. Encontrar novas conexões entre subestações (SS) por meio de otimizadores. Definir o modelo comparativo entre os otimizadores para encontrar a melhor solução e enfim apontar o otimizador que obteve melhorias mais significativas na confiabilidade e na qualidade da energia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A crescente demanda por eletricidade tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas mais modernos e inteligentes para gerenciar essa transição. Um estudo realizado por Kwon et al. (2022) destaca a eficiência energética obtida com a aplicação da inteligência artificial à previsão da demanda de energia [3]. O uso de mecanismos preditivos, como a derivação da temperatura de conforto e a previsão de padrões de sono, resultou em uma economia significativa de energia, demonstrando a eficácia das abordagens preditivas para otimizar o consumo. Além disso, a automação residencial surgiu como uma solução promissora para a economia de energia, conforme discutido por U. ur Rehman et al. (2022) [7].

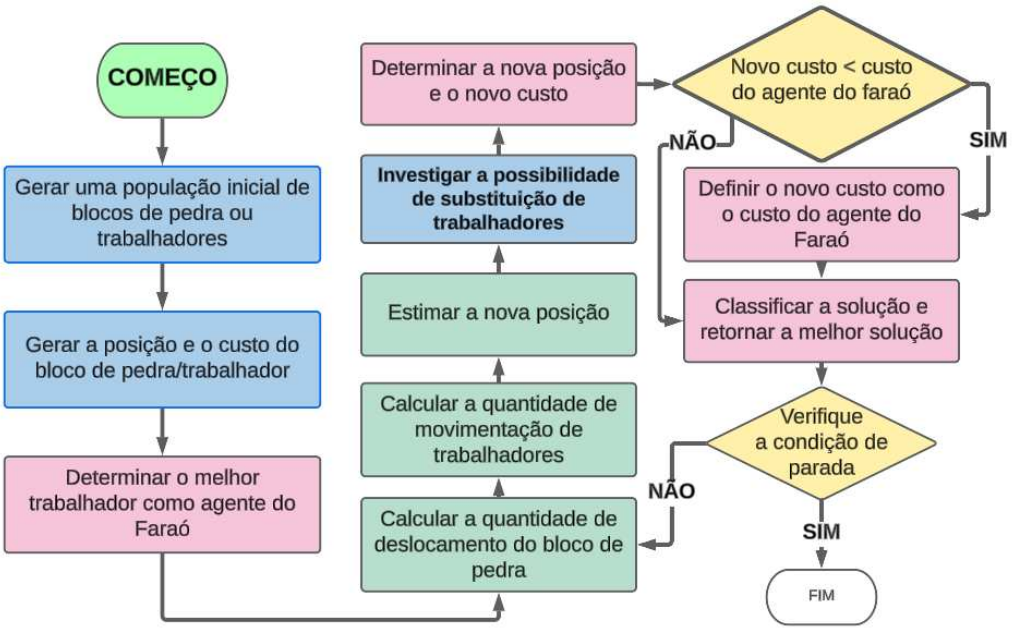
O uso de bancos de dados de automação residencial para gerenciar a produção e o armazenamento de energia possibilitou a modelagem de padrões de consumo de energia, tornando possível prever a quantidade de energia necessária para cada momento do dia. A integração de veículos elétricos como fontes móveis de armazenamento de energia, juntamente com o desenvolvimento de estruturas de gerenciamento de eficiência energética doméstica, proporcionou flexibilidade no uso da energia armazenada, resultando em melhorias econômicas e no aumento da vida útil dos sistemas de armazenamento. A pesquisa de Kwon, K. et al. (2022) e Rehman, U. ur et al. (2022) fornece informações valiosas para a otimização dos sistemas de rede elétrica [3, 7]. A aplicação de inteligência artificial e metodologias de automação residencial pode ser explorada na busca de soluções eficientes para gerenciar a demanda de energia e reduzir as perdas da rede. Por conta disso para A. H. Halim et al (2021) integração dessas abordagens com algoritmos de otimização, como GPC, MRFO e ArchOA, pode resultar em estratégias mais abrangentes e eficazes para a otimização da rede elétrica [1].

Portanto, ao considerar o conteúdo teórico discutido, é possível definir uma metodologia abrangente que incorpore técnicas de otimização tradicionais e as abordagens mais recentes baseadas em inteligência artificial e automação residencial. Essa abordagem integrada tem o potencial de melhorar significativamente a eficiência e a confiabilidade dos sistemas de rede elétrica, contribuindo para um gerenciamento de eletricidade mais sustentável e eficiente.

O algoritmo GPC, que possui sua lógica de funcionamento abaixo na imagem 1 foi proposto por A. H. Halim et al. (2021), é inspirado no gerenciamento e na logística

complexa envolvida na construção das Pirâmides de Gizé no antigo Egito [1]. Esse método de otimização reflete a competição e a organização entre os trabalhadores durante a construção das pirâmides, destacando a importância da eficiência e da substituição de recursos humanos. A abordagem também considera fatores como o transporte diário de blocos de pedra e a influência de variáveis como a inclinação da rampa e a força de atrito, destacando a necessidade de gerenciamento eficiente de recursos durante o processo de construção.

Figura 1 - Diagrama de otimização "Gyza Pyramids Construction"



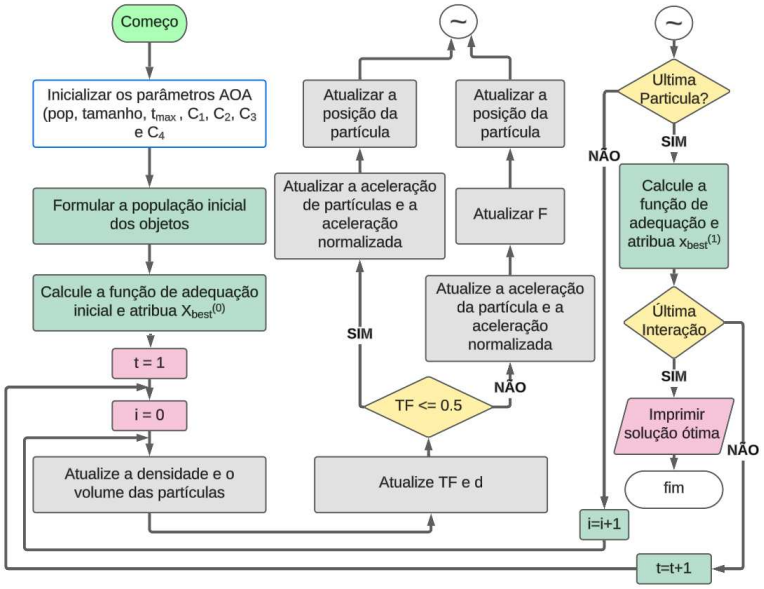
Fonte: Autoria própria (2023)

O uso de algoritmos de otimização, como o de Dorahaki, S. et al. (2022), demonstrou uma eficácia notável na minimização dos custos de aquisição de energia e, ao mesmo tempo, na maximização do conforto do consumidor [8]. S. Dorahaki et al. (2022) também contribuíram para a discussão, destacando o papel da programação linear inteira mista (MILP) na automação residencial e no gerenciamento de energia residencial. Suas descobertas sugerem que, ao maximizar a satisfação do usuário final, o sistema tende naturalmente a priorizar o conforto em relação à economia de energia, destacando a importância de considerar as preferências individuais ao projetar sistemas de automação residencial [8]. A previsão da demanda de eletricidade, conforme abordada pelo modelo WIOa SVR, desempenha um papel crucial no planejamento e na operação eficientes do sistema de energia. Esse modelo demonstrou melhorias na precisão da previsão, fornecendo referências úteis para o gerenciamento eficaz de energia em edifícios. Esenogho et al. (2022) discutiram os

avanços no aprimoramento da rede elétrica, especialmente em relação aos sistemas inteligentes e à integração 5G [2].

O algoritmo de otimização Archimedes (AOA ou ArchOA) também foi estudado e aplicado o modelo de otimizadores, sua lógica já conhecida foi adaptada e a representação lógica do seu funcionamento apresentada na figura 2 destaca uma maior complexidade na definição dos parâmetros para execução. O otimizador ArchOA foi proposto por Hashim et al. (2020), é uma nova abordagem meta-heurística desenvolvida para resolver problemas complexos de otimização numérica no mundo real. Inspirado no Princípio de Arquimedes, o AOA imita a relação entre a força de empuxo exercida em um objeto imerso em um fluido e o peso do fluido deslocado. Esse algoritmo foi testado em vários conjuntos de testes, incluindo o CEC'17 e problemas de projeto de engenharia, demonstrando desempenho superior a outros algoritmos metaheurísticos conhecidos, como algoritmos genéticos, otimização de enxame de partículas e variantes de evolução diferencial. Para Hashim, F.A et al (2021) os resultados experimentais destacam a eficácia do AOA em termos de velocidade de convergência e o equilíbrio entre exploração e aproveitamento, tornando-o uma ferramenta promissora para resolver problemas complexos de otimização [9].

Figura 2 - Diagrama de otimização "Archimedes Optimization Algorithm"



Fonte: Autoria própria (2023)

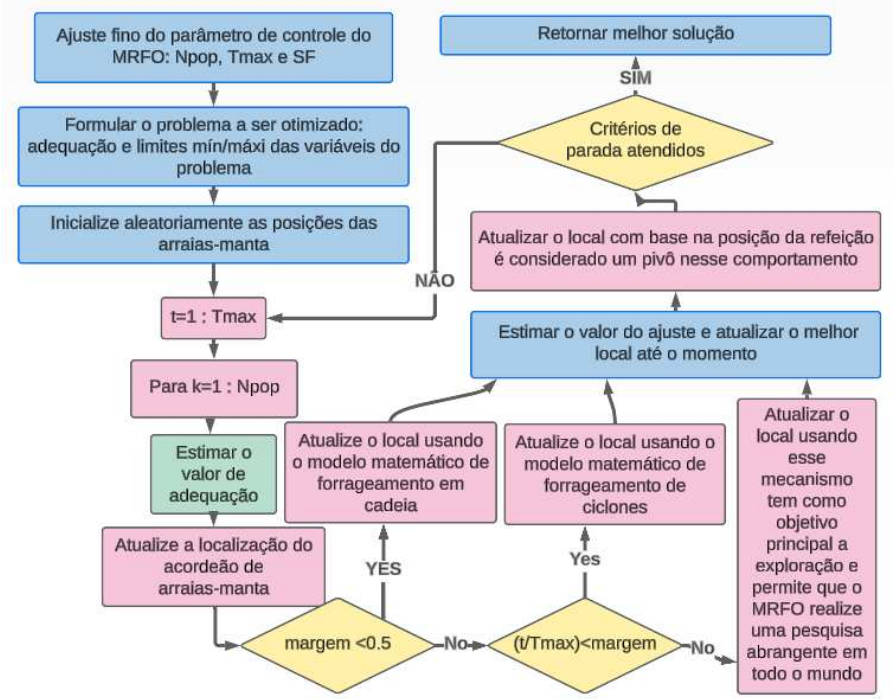
O uso de sensores inteligentes e sistemas de previsão baseados em IA oferece novas oportunidades para melhorar a segurança e a eficiência do sistema

elétrico, destacando a importância da evolução tecnológica na otimização das redes de energia. Por fim, o conceito "Cyber Twin" apresentado por J. D. Kumar et al (2021) introduz soluções inovadoras para monitorar, gerenciar e compartilhar recursos na próxima geração de redes de comunicação [15]. O uso de técnicas como a alocação de recursos baseada em blockchain mostra potencial para melhorar a eficiência e a segurança das redes de energia, indicando uma direção futura para a pesquisa em otimização de sistemas de energia.

A abordagem proposta por U. ur Rehman et al. (2022) destaca a importância de considerar a demanda e o perfil de uso de energia em residências inteligentes. Ao integrar veículos elétricos (EVs) como componentes móveis disponíveis para armazenamento de energia, juntamente com uma estrutura de gerenciamento de eficiência energética doméstica (HPMF), foi possível otimizar o uso de diferentes eletrodomésticos de acordo com as preferências do consumidor e a programação definida. O controle da carga e descarga de sistemas de armazenamento de energia (ESSs) e EVs, levando em conta seus custos de capital, demonstrou não apenas melhorar os resultados econômicos, mas também aumentar a vida útil dos ESSs [7].

Outro algoritmo que será discutido e foi usado para as simulações é o MRFO. Esse modelo heurístico apresenta uma análise de logica observada na metodologia de caça e procura por alimento das arraias-manta. De acordo com M. Abdullahi et al. (2023), o algoritmo MRFO é uma abordagem metaheurística baseada em população que imita o comportamento de forrageamento das arraias-manta. O método consiste em três estratégias principais: forrageamento em cadeia, forrageamento em ciclone e forrageamento em cambalhota. Essas estratégias visam a identificar o local com a maior densidade de plâncton, representando a melhor solução para o problema de otimização global [10].

Figura 3 - Diagrama de otimização "Manta Ray Foraging Optimization".



Fonte: Autoria propria (2023)

Para M. Abdullahi et al (2023) na primeira abordagem do otimizador, cada arraia-manta atualiza sua posição considerando a melhor solução encontrada e a posição da arraia à sua frente, enquanto na segunda estratégia, as arraias-manta caminham ciclicamente no domínio de busca, realizando uma caminhada aleatória para explorar novas regiões. Por fim, na terceira etapa, cada arraia-manta executa uma caminhada de cambalhota em direção à melhor solução encontrada até o momento, buscando refinar ainda mais a busca por soluções ótimas [10].

Ao usar a programação linear inteira mista (MILP) em conjunto com essa estrutura de gerenciamento de energia, U. ur Rehman et al. (2022) identificaram a possibilidade de otimizar de forma inteligente a aquisição de energia em residências inteligentes. Isso não apenas resultou em custos mínimos de compra de energia, mas também aumentou o conforto do consumidor [7]. A implementação de um modelo híbrido para melhorar a vida útil da bateria de SSEs e EVs mostrou uma economia de energia significativa, comprovando a eficácia dessa abordagem na redução do consumo de energia. Por outro lado, o estudo de S. Dorahaki et al. (2022) examinou a operação e a natureza da programação linear inteira mista (MILP) na automação residencial, especificamente com o gerenciador de energia residencial HEM. Dorahaki, S. et al. (2022) concluíram que o problema MILP comportamental do HEM

proposto tende naturalmente a maximizar a satisfação do usuário final em vez de priorizar a economia de energia [8]. Essa conclusão destaca a importância de considerar não apenas aspectos técnicos, mas também comportamentais ao projetar sistemas de automação residencial para garantir o conforto do usuário.

Além disso, a previsão da demanda de eletricidade, conforme abordada pelo modelo WIOa SVR (Wolfa Inspired Optimized Support Vector Regression), desenvolvido para prever o consumo de energia em edifícios, é essencial para o planejamento e a operação eficientes do sistema de energia. A precisão aprimorada dessa previsão fornece referências úteis para o gerenciamento eficiente de energia em edifícios, contribuindo para um uso mais racional dos recursos energéticos.

2.1 Materiais

A criação e adaptação do modelo matemático precisava de dados para ter suas validações. O conjunto de dados contendo informações sobre linhas de transmissão, subestações, barramentos, cargas e interconexões entre eles. Para modelar as estruturas reais também foram necessárias as informações da origem e destino onde as linhas de transmissão passam e interconectam. Os dados de barramentos das subestações foram fundamentais para a lógica dos otimizadores calcularem as perdas junto aos valores de cargas nas linhas de transmissão. Dados relativos às tensões e potências ativas e reativas nos barramentos da rede elétrica também apontaram para os tratamentos da qualidade da energia ativa. Trazendo a luz as necessidades de correção de perdas de potência de energia elétrica entre outros parâmetros definidos para a melhoria do sinal de energia.

Então após tratar e definir a forma da lógica do sistema passamos para a implementação de um modelo computacional da rede elétrica utilizando a plataforma MATLAB. Nos dados de rede elétrica e os modelos matemáticos que serão aplicados devem ser mutáveis para abranger diferentes conjuntos de dados. Pois neste projeto como dado anteriormente foi necessário aplicar a pesquisa e simulação em uma malha menor e outra maior. Conjunto de algoritmos, incluindo GPC, MRFO e ArchOA, utilizados para otimizar a configuração da rede elétrica. Esses algoritmos precisam possuir o código aberto para facilitar as futuras aplicações em outras pesquisas, bem como as adaptações no modelo de cálculo deles para tratar os dados de forma a satisfazer as definições e objetivos de cada pesquisa. E um computador com MATLAB

com capacidade para processar e tratar os dados das combinações enviadas ao software. É indicado o mínimo de 8 Gb de memória RAM para as simulações e projeções de modelos matemáticos e elétricos.

2.2 Metodologia

Neste trabalho, a simulação e a otimização dos sistemas de rede elétrica são sugeridas usando a plataforma MATLAB. A análise se concentra em redes de transmissão, incluindo dados de barramento, como dados de tensão, potência ativa e reativa, e a conexão entre barras. A intenção principal é reduzir as perdas de energia ao longo da rede, obtendo uma configuração ideal que possa incluir eficiência energética geral e qualidade de energia. A pesquisa compreende as seguintes etapas principais:

Em primeiro lugar, os dados da linha de transmissão processados anteriormente e suas conexões com os barramentos são importados para o ambiente MATLAB. Em segundo lugar, a rede elétrica é modelada, onde as conexões entre os nós e as distâncias entre eles são realizadas por uma matriz X-Y. Além disso, o estudo de Rehman, U. ur et al. (2022) explora a integração da automação residencial para o gerenciamento eficiente da produção e do armazenamento de energia, destacando uma perspectiva prática para a aplicação da automação na redução do consumo de energia.

- Hardware necessário para executar o MATLAB;
- Dados de Rede Elétrica;
- Construção do Modelo de Rede;
- Cálculo de Perdas Elétricas;
- Incorporação de Geradores;
- Otimização da Malha Elétrica;
- Representação Gráfica;

Conjunto de dados contendo informações sobre linhas e dados da rede elétrica foram obtidos através do site da ONS. Os dados de rede elétrica, incluindo informações sobre linhas de transmissão e barramentos, foram importados para o MATLAB. É desenvolvido um modelo matemático da rede elétrica, representando as relações entre os diferentes nós e as distâncias entre eles por meio de uma matriz X-Y. Então a partir das potências ativa e reativa e das cargas definidas em cada

barramento, são calculadas as perdas elétricas na rede com base no modelo construído, levando em conta os dados de tensão e potência. Para melhorar o sinal e para que o modelo esteja mais próximo da realidade foram adicionadas as informações dos geradores existentes na rede, sendo eles considerados como fontes de ajuste para a qualidade das linhas de transmissão.

São aplicadas as metodologias de otimização, como GPC, MRFO e ArchOA, para encontrar a configuração mais eficiente da rede, visando minimizar perdas e melhorar a capacidade de transporte de energia. Os resultados da otimização são cuidadosamente analisados, destacando-se as reduções nas perdas elétricas e a eficácia das soluções propostas.

São geradas representações gráficas dos resultados, apresentando a distribuição de potência em unidades de p.u. e identificando os nós correspondentes. Validação e Interpretação: Os resultados obtidos são validados e interpretados, fornecendo maior clareza sobre a eficiência e confiabilidade da rede elétrica otimizada. No caso deste trabalho a representação gráfica se baseou na melhor representação da malha, não se baseando nos pontos cartesianos das subestações.

3 DESENVOLVIMENTO, SIMULAÇÕES

O estudo apresentado concentra-se no gerenciamento otimizado de energia para sistemas híbridos, usando algoritmos meta-heurísticos para otimizar os sistemas de armazenamento de energia. O K. Kwon et al (2022) afirmaram que a eficiência energética obtida por meio da inteligência artificial, gera uma economia de energia estimada em cerca de 14% [3]. A automação residencial também é usada para economizar energia por meio da modelagem e da parametrização dos padrões de consumo de energia [3].

Para N. Ngo et al (2022) a previsão da demanda de eletricidade é essencial para o planejamento e a operação do sistema de eletricidade. O modelo WolfäInspired Optimized Support Vector Regression (WIOÄSVR) foi desenvolvido para prever o consumo de energia em edifícios [4]. Para S. Lee e D-H. Choi (2022) o desenvolvimento de residências inteligentes levou a novas formas de gerenciar o consumo de energia, com o consumo doméstico sendo gerenciado em nível local e usando um servidor global [11].

Com a presença cada vez maior de carros elétricos e geração distribuída com painéis fotovoltaicos, a possibilidade de comércio ponto a ponto tem sido cada vez mais discutida. A incerteza da disponibilidade de veículos elétricos (EV) pode ser modelada usando a simulação de Monte Carlo. O modelo proposto por B. Gu et al. (2022) visa arbitrar preços e negociar o valor das vendas de eletricidade entre pares (P2P) [12].

Os sistemas de armazenamento de energia consideram uma arbitragem contra a escassez para garantir o fornecimento de energia. A pesquisa de P. Aaslid et al (2022) propõe um modelo de programação estocástica de vários estágios para a operação de uma usina que tem fontes de energia renováveis variáveis (VRES), ESSs e geradores térmicos instalados [13]. Por isso para X. Li, and S. Wang (2021), a segurança de diferentes tipos de sistemas de armazenamento de energia é considerada para evitar efetivamente a ocorrência e a propagação de acidentes em todo o processo de produção [5].

O código MATLAB apresentado é um exemplo de como esses conceitos podem ser aplicados na prática. O código é usado para selecionar um estudo de caso, definir parâmetros para a execução do algoritmo e, em seguida, executar o algoritmo em várias execuções. O algoritmo é aplicado a um sistema de distribuição de energia,

otimizando a configuração do sistema para minimizar as perdas de energia e melhorar o perfil de tensão. Os resultados numéricos e a discussão apresentados mostram que o otimizador de equilíbrio (EO) é um novo algoritmo de otimização inteligente com um mecanismo simples e fácil de implementar. No entanto, o EO tem algumas desvantagens, especialmente na solução de problemas multimodais complexos e problemas de projeto de engenharia.

Como resultado de pesquisa A. H. Halim (2021), um otimizador de equilíbrio adaptável (LWMEO) com três estratégias de otimização eficientes é proposto e aplicado a oito problemas diferentes de otimização de projetos de engenharia [1]. Outro tópico abordado por A. Farzamnia et al. (2022) estava ligado à análise das correlações de diferentes fontes de energia renovável (FER) [16]. A interação das FER foi a base para o desenvolvimento de um dispositivo chamado Soft Open Points (SOPs) desenvolvido por W. Fu et al (2022). Os SOPs são dispositivos eletrônicos de potência flexíveis que foram desenvolvidos para aumentar a eficiência dos sistemas de energia elétrica (EPS) [14]. Um dos métodos de otimização inspirados na física introduzidos recentemente é o Algoritmo de Otimização de Arquimedes (AOA).

Portanto, ao considerar as várias abordagens discutidas, é possível identificar oportunidades significativas para otimizar o consumo de energia em sistemas residenciais. Para K. Kwon et al (2022) isso é possível ao integrar tecnologias avançadas de previsão de demanda, automação residencial e gerenciamento inteligente de energia [3]. Essa integração pode resultar em sistemas mais eficientes, econômicos e confortáveis para os consumidores, contribuindo para um gerenciamento de eletricidade mais sustentável. Devido a isso a escolha da metodologia de otimização de malha é fundamental para garantir a eficiência e a precisão das simulações no contexto do sistema de eletricidade.

Já os autores U. ur Rehman et al. (2022) apontam que as diferentes abordagens oferecidas pelos otimizadores podem resultar em redes de transmissão elétrica com características diferentes, o que influencia diretamente a precisão dos resultados e a representação do sistema real [7]. Ao comparar os resultados obtidos com os três otimizadores - ArchOA, GPC e MRFO -, é importante considerar não apenas os aspectos quantitativos, como o número de barramentos e a topologia da malha, mas também os aspectos qualitativos, como a estabilidade do sistema, a capacidade de responder a distúrbios e a robustez diante de cenários variados [7]. A primeira rede otimizada, composta por 58 barramentos, concentrou-se nas conexões

diretas internas no estado do Paraná. Essa abordagem pode fornecer informações valiosas sobre a infraestrutura de transmissão elétrica no estado, destacando áreas de otimização potencial e identificando possíveis gargalos ou pontos fracos no sistema.

Por outro lado, a segunda grade, expandida para incluir 183 barramentos e considerar subestações em estados vizinhos (como São Paulo, Mato Grosso do Sul e Santa Catarina), oferece uma visão mais abrangente e integrada do sistema elétrico. Ao incorporar uma área geográfica mais ampla, essa rede fornece uma representação mais precisa da interconexão e interdependência das redes de transmissão de eletricidade em todo o Brasil. A inclusão de subestações em estados vizinhos na grade de simulação reflete a natureza interconectada do sistema elétrico brasileiro. Essa expansão da rede permite uma análise mais abrangente dos fluxos de energia, das interações entre diferentes regiões e das possíveis repercussões de eventos em uma área sobre o restante do sistema. É importante observar que a escolha entre redes de menor ou maior escala não é apenas uma questão de complexidade computacional, mas sim uma decisão estratégica que afeta diretamente a capacidade do modelo de simulação de capturar com precisão os fenômenos e a dinâmica do sistema elétrico real como apontado por Dorahaki, S. et al. (2022) [8]. Além disso, o modelo de fluxo de potência é fundamental para entender como a energia é distribuída em uma rede. As equações de fluxo de potência, baseadas nas Leis de Kirchhoff e na Lei de Ohm, são resolvidas para determinar as tensões nos nós e as correntes nas linhas. As equações básicas são:

$$g_P(\theta, V_m, P_g) = P_{bus}(\theta, V_m) + P_d - C_g P_g = 0$$
$$g_Q(\theta, V_m, Q_g) = Q_{bus}(\theta, V_m) + Q_d - C_g Q_g = 0$$

4 RESULTADOS

4.1 Resultado Atual

A escolha da metodologia de otimização da grade e o escopo da grade de simulação têm implicações significativas para a representação e a análise do sistema de energia. É essencial considerar cuidadosamente as compensações entre complexidade, precisão e capacidade de generalização ao selecionar a abordagem mais adequada para cada cenário de estudo.

Como parte da simulação foi necessária a utilização de funções de otimização e simulação do Matlab conhecida como Matpower. Através das funções de fluxo de potência, e a distribuição geográfica das SS (subestações) foi possível obter uma visão geral do modelo real da malha da linha de transmissão. A figura 4 apresenta a malha otimizada pelo MRFO, a figura 5 mostra as interconexões das SS otimizado pelo GPC e a figura 6 apresenta as interconexões otimizadas pelo modelo de Archimedes (ArchOA).

Após as rodadas de dados e a análise de limites aplicada ao modelo usado como entrada, os modelos de otimização foram executados no mesmo banco de dados. Isso possibilitou a criação de um exemplo do modelo e das conexões pós-otimização. Esses modelos das figuras 4, 5 e 6 não representam a posição geográfica exata das subestações, mas apresenta a conexão ideal de malha dos pontos sinalizando a malha com as numerações das SSs.

As funções e os cálculos do Matpower podem ser usados para otimizar os sistemas de rede elétrica. Essas funções podem ajudar a calcular vários parâmetros, como fluxos de energia, magnitudes e ângulos de tensão nos barramentos, bem como fluxos e perdas nas linhas.

Uma das principais funções que podem ser usadas é a análise de fluxo de energia Newton-Raphson. Essa função é usada para calcular a magnitude da tensão e o ângulo de fase de cada barramento do sistema. O cálculo é baseado nas injeções de potência complexas em cada barramento e na matriz de admitância do sistema. Essa função pode ser usada para calcular fluxos de energia e perdas na rede de transmissão.

Outra função importante é a análise do fluxo de potência ideal (OPF). A OPF é usada para otimizar o fluxo de energia na rede a fim de minimizar o custo total de produção, levando em conta a demanda e as restrições de transmissão. A função OPF

pode ser usada para encontrar o despacho ideal de geradores, os pontos ideais de regulação de tensão e as configurações ideais de dispositivos de energia reativa, como capacitores e reatores. A função do fluxo de potência é usada para encontrar o estado operacional mais econômico ou eficiente de um sistema de energia, sujeito a restrições operacionais. A função objetiva geralmente minimiza o custo total de geração, expresso como:

f (x)

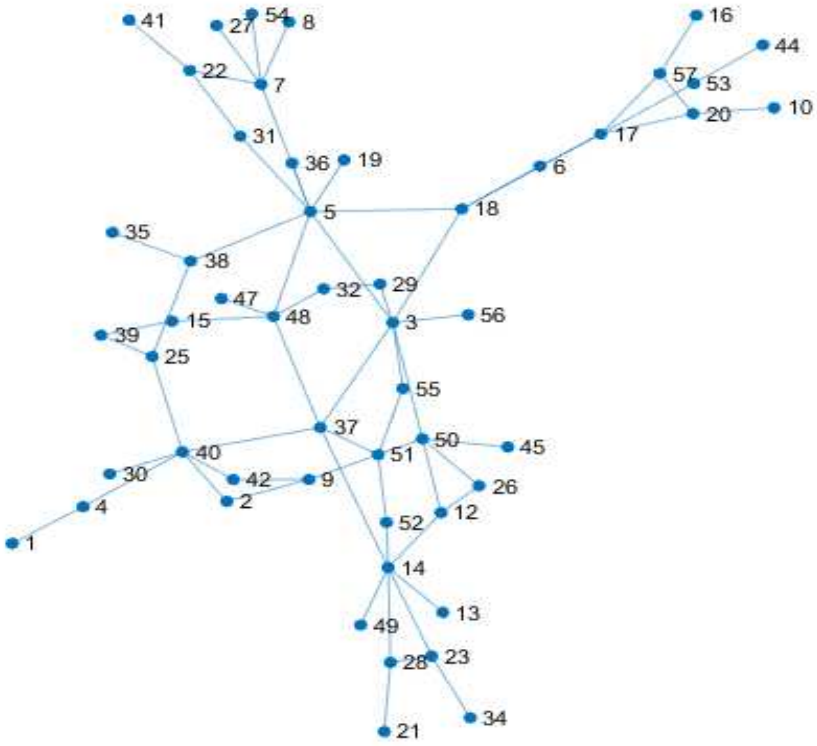
g(x)=0

h(x)0≤0

x_min≤x≤X_max

∑_(i=1)^ng fip(piG)-fiq(x)*(Qig)=0

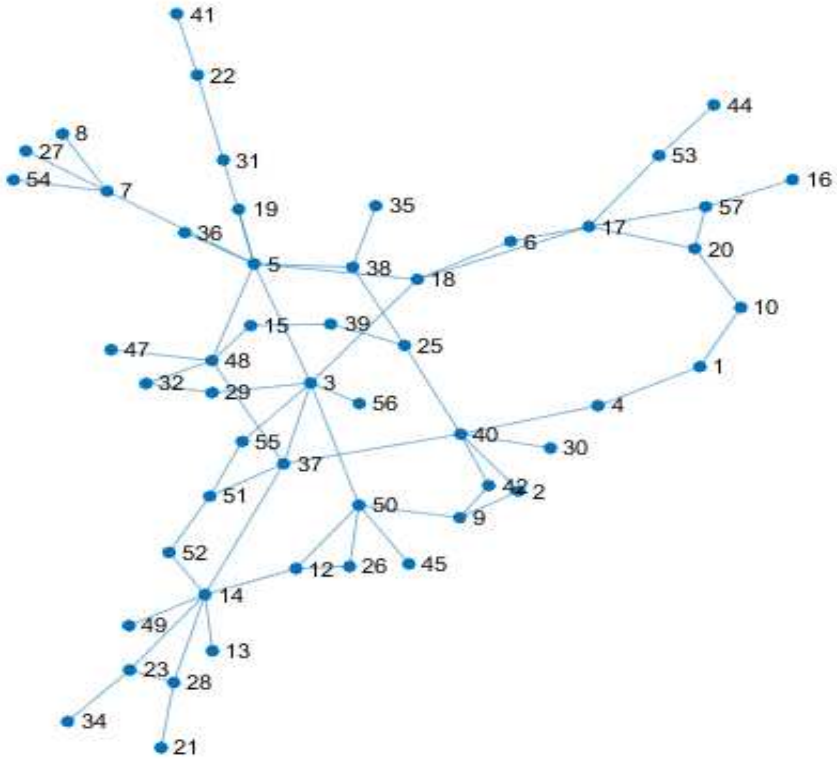
Figura 4 - 58-BUS Otimizado pelo otimizador MRFO



Fonte: Resultados das simulações MATLAB

Além dessas funções, o MATPOWER oferece várias outras funções que podem ser usadas para calcular vários parâmetros, como estabilidade de tensão, estabilidade transitória e análise de falhas. Essas funções podem ser usadas. Modelos de linha de transmissão para simular diferentes cenários e analisar o comportamento da rede sob diferentes condições de operação.

Figura 5 - 58-BUS Otimizado pelo otimizador GPC

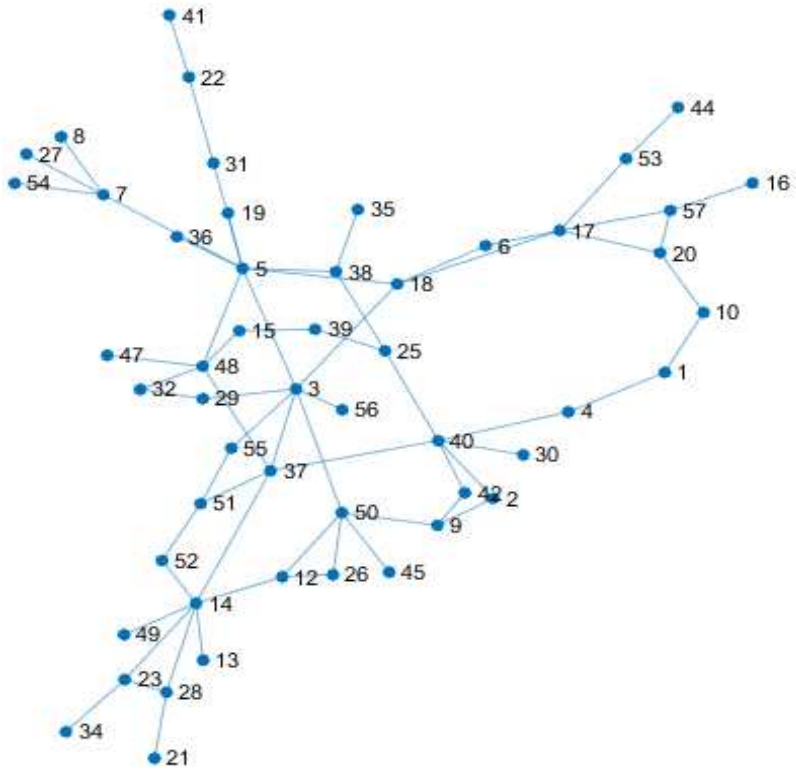


Fonte: Resultados das simulações MATLAB

Em geral, o uso das funções e dos cálculos do MATPOWER pode melhorar significativamente o processo de otimização dos sistemas de rede elétrica. Com o uso dessas funções, é possível obter resultados mais precisos e eficientes, o que pode levar a melhorias significativas na eficiência energética geral e na qualidade da energia na rede e a tabela resultante dos cálculos e das funções “runpf('case58_NEW')”, “case58_NEW”, “define_constants”, “mpc.bus(2, PD) = 58”, “mpc=loadcase('case58_NEW')”, “runopf(mpc)” apresentam as cargas em p.u. bem como os dados de perdas para barra e para cada ramo elétrico.

Com base nos dados obtidos das simulações na França, foi possível observar que a configuração da simulação e as métricas de avaliação apresentadas mostram que os resultados do GPC, do ArchOA e do MRFO são satisfatórios para os modelos unitários (dentro da estrutura de reconfiguração de DN proposta). A investigação da análise de três otimizadores considerou dois sistemas de transmissão de eletricidade: (i) o sistema de 33 barramentos com Ploss init = 153,65 kW e V mvm init = 0,93 (p.u.) no nó 18, e (ii) o sistema de 69 barramentos com Ploss init = 126,77 kW e V mvm init = 0,93 (p.u.) no nó 65. Esses valores são considerados para o melhor algoritmo.

Figura 6 - 58-BUS Otimizado pelo otimizador ArchOA



Fonte: Resultados das simulações MATLAB

No caso base, o estudo analisa a inserção de até cinco SSs em sistemas de 33 e 69 barramentos. No sistema de 33 barramentos, a inserção do primeiro SS reduz a perda de energia em 27,71% e aumenta V mvm para 0,9350 (p.u.). A inserção adicional de SSs continua a melhorar o desempenho, com o quarto SS atingindo uma redução de perda de 83% e um V mvm de 0,96808 (p.u.). No entanto, a melhoria do desempenho satura após a inserção do quarto SS.

No sistema de 69 barramentos, a inserção de cinco SSs reduz a perda de energia em 63,7% e aumenta o V mvm para 0,9499 (p.u.). O GPC supera os outros otimizadores, com a melhor curva de convergência e o perfil médio de tensão mais próximo do melhor. A eficácia do uso de novos SSs no DN pode proporcionar um desempenho aceitável, mas os benefícios de adicionar mais SSs podem não compensar as despesas de comutação e custo.

4.2 Perspectivas Futuras e Desafios a Serem Superados

A pesquisa realizada na França e no Brasil indicou variações consideráveis, principalmente devido a diferenças na metodologia de pesquisa e nas condições de simulação. Na França, os modelos utilizados foram unitários e simbólicos, enquanto

no Brasil os modelos foram atualizados com base nos dados da ANEEL e do ONS. Essas variações resultaram em resultados de simulação diferentes, o que proporciona questões fascinantes para discussão.

Um dos principais obstáculos enfrentados durante a pesquisa foi a ativação de várias extensões do MATLAB MATPOWER na máquina pessoal. Isso resultou em desafios para concluir as simulações e otimizações da rede de transmissão elétrica. Além disso, houve problemas com a função OPF colocada junto com a função MATPOWER no simulador MATLAB. Esses desafios técnicos destacam a necessidade de melhorar a compatibilidade e a facilidade de uso das ferramentas de simulação.

Entretanto, apesar desses desafios, a pesquisa conseguiu gerar percepções valiosas sobre a otimização dos sistemas de rede elétrica. Por exemplo, a pesquisa mostrou que o otimizador de equilíbrio (EO) é um novo algoritmo de otimização inteligente com um mecanismo simples e fácil de implementar. No entanto, o OE tem algumas desvantagens, especialmente ao resolver problemas multimodais complexos e problemas de projeto de engenharia. Como resultado, um otimizador de equilíbrio adaptável (LWMEO) com três estratégias de otimização eficientes foi proposto e aplicado a oito problemas diferentes de otimização de projetos de engenharia.

Olhando para o futuro, há várias perspectivas e desafios a serem superados. Primeiro, há a necessidade de desenvolver algoritmos de otimização mais eficientes e robustos que possam lidar com problemas multimodais complexos. Isso exigirá pesquisa e desenvolvimento contínuos na área de otimização inteligente. Em segundo lugar, a pesquisa destacou a importância das fontes de energia renováveis (FER), e a interação das FER foi a base para o desenvolvimento de um dispositivo chamado SOPs (Soft Open Points). Os SOPs são dispositivos eletrônicos de potência flexíveis que foram desenvolvidos para aumentar a eficiência dos sistemas de energia elétrica (EPS). No entanto, a implementação e a otimização desses dispositivos apresentam desafios significativos que precisam ser superados.

Em terceiro lugar, a pesquisa mostrou que a inserção de até cinco SSs em sistemas de 33 e 69 barramentos pode reduzir a perda de energia e aumentar o V mvm. Entretanto, a melhoria do desempenho satura após a inserção do quarto SS, o que sugere que os benefícios da inserção de mais SSs podem não superar os custos de comutação e de custo. A aplicação aos dados reais da rede do Paraná e da rede

da região SUL do ONS foi inconclusiva devido a falhas no sistema de otimização com os dados reais.

Em resumo, a pesquisa apresentou várias perspectivas futuras e desafios a serem superados na área de simulações de sistemas de redes elétricas. A superação desses desafios exigirá esforços contínuos de pesquisa e desenvolvimento, bem como a colaboração entre pesquisadores, engenheiros e profissionais do setor.

5 CONCLUSÃO

Os avanços nos métodos de otimização tiveram um impacto positivo no gerenciamento de energia em sistemas híbridos. Assim, a conclusão deste estudo mostra que o estado da arte do gerenciamento de energia ideal para sistemas híbridos está se reinventando. A análise dos algoritmos meta-heurísticos e os benefícios dos perfis de tensão quando alocados e dimensionados de forma ideal na rede elétrica foram apresentados. Além disso, os desempenhos dos algoritmos GPC, ArchOA e MRFO foram avaliados em um cenário real com o objetivo de movimentar a carga máxima de 183 sistemas. Não é possível determinar o melhor otimizador para os casos reais, mas foi dada a devida relevância ao tópico para incentivar a busca por ele, uma vez que o uso de otimizadores estará cada vez mais presente em nosso cotidiano. As pesquisas continuam a explorar novas abordagens e a adaptar algoritmos para resolver problemas complexos. O futuro da otimização de energia está intrinsecamente ligado à inovação e à aplicação prática desses métodos.

REFERÊNCIAS

[1] A. H. Halim, I. Ismail and S. Das, “Performance Assessment of The Metaheuristic Optimization Algorithms: An Exhaustive Review”, Artificial Intelligence Review, Vol.54, 2021.

[2] E. Esenogho, K. Djouani and A. M. Kurien, “Integrating Artificial Intelligence Internet of Things and 5G for Next- Generation Smart Grid: A Survey of Trends, Challenges and Prospect “, IEEE Access, Vol. 10, 2022.

[3] K. Kwon, S. Lee and S. Kim, “AI-Based Home Energy Management System Considering Energy Efficiency and Resident Satisfaction”, IEEE Internet of Things Journal, Vol. 9, 2022.

[4] N. Ngo, T. Truong, N. Truong, A. Pham, N. Huynh, T. M. Pham V. H. S. Pham, “Proposing a Hybrid Metaheuristic Optimization Algorithm and Machine Learning Model for Energy Use Forecast in Non residential Buildings”, Scientific reports, Vol.12, 2022.

[5] X. Li, and S. Wang “Energy management and operational control methods for grid battery energy storage systems”, CSEE Journal of power and energy systems, Vol.7, 2021.

[6] R. Lia, S. Saeid Nahaei “Optimal operation of energy hubs integrated with electric vehicles, load management, combined heat and power unit and renewable energy sources”, Journal of Energy Storage, Vol.48, 2022.

[7] U. ur Rehman, K. Yaqoob, M. A. Khan, “Optimal power management framework for smart homes using electric vehicles and energy storage”, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol.134, 2022.

[8] S. Dorahaki, M. Rashidinejad, S. Farshad, Fatemi Ardestani, Amir Abdollahi, Mohammad Reza Salehizadeh, “A home energy management model considering energy storage and smart flexible appliances: A modified time-driven prospect theory approach”, Journal of Energy Storage, Vol.48, 2022.

[9] Hashim, F.A., Hussain, K., Houssein, E.H. et al. Archimedes optimization algorithm: a new metaheuristic algorithm for solving optimization problems. Appl Intell 51, 1531–1551 (2021). https://doi.org/10.1007/s10489-020-01893-z

[10] M. Abdullahi, I. H. Hassan, M. D. Abdullahi, I. Aliyu and J. Kim, "Manta Ray Foraging Optimization Algorithm: Modifications and Applications," in IEEE Access, vol. 11, pp. 53315-53343, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3276264.

[11] S. Lee and D-H. Choi, “Federated Reinforcement Learning for Energy Management of Multiple Smart Homes With Distributed Energy Resources”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 18, 2022.

[12] B. Gu et al., “Optimal Charge/Discharge Scheduling for Batteries in Energy Router-based Microgrids of Prosumers via Peer-to-Peer Trading”, IEEE Transactions on Sustainable Energy.

[13] P. Aaslid, M. Korpas, M. M. Belsnes and O. Fosso, “Stochastic Optimization of Microgrid Operation With Renewable Generation and Energy Storages”, IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2022.

[14] W. Fu, Y. Wan, J. Qin, Y. Kang and L. Li, “Privacy- Preserving Optimal Energy Management for Smart Grid With Cloud-Edge Computing”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 18, 2022.

[15] J. D. Kumar, S.Tyagi, S. K.Kumar, S. Neelakandan , M. Prakash and Natrayan, ”Metaheuristic Optimization-based Resource Allocation Technique for Cyber Twin-driven 6G on IoE Environment”, IEEE transactions on industrial informatics, 2021.

[16] A. Farzamnia, S. Marjani, S. Galvani and K. T. T. Kin, “Optimal Allocation of Soft Open Point Devices in Renewable Energy Integrated Distribution Systems”, in IEEE Access, vol. 10, 2022.

ANEXO A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998

Presidência da República
Casa Civil
Subchefia para Assuntos Jurídicos

LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998[1].

Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Título I - Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafação - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primígena;

---

[1] Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9610.htm.

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado*;*

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.