



## APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA PRIORIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE DISJUNTORES DE SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

## APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR MAINTENANCE PRIORITY OF ELECTRIC POWER SUBSTATION CIRCUIT BREAKERS

**Marcello Gamarra de Souza Elias, Nelson Renan Seiti Harakawa, Rafael Bratfich, Marcelo Marques da Silva**

**Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP.**

E-mail: [marcello.gamarra@hotmail.com](mailto:marcello.gamarra@hotmail.com), [nelsonharakaw@hotmail.com](mailto:nelsonharakaw@hotmail.com),  
[rafaelbrattfich@gmail.com](mailto:rafaelbrattfich@gmail.com), [marcelomarques@unoeste.br](mailto:marcelomarques@unoeste.br)

**RESUMO** - No fornecimento de energia elétrica, para que as subestações de energia elétrica possam continuar operando é de extrema importância as manutenções dos equipamentos elétricos presentes. Atualmente a diversas formas de programação de manutenções preventivas, onde cada empresa de fornecimento de energia elétrica adota-se um método existente ou desenvolve um novo método. Para a realização deste trabalho foi utilizado a metodologia da lógica fuzzy que possibilita o cálculo da confiabilidade entre as incertezas, com o objetivo de classificar o grau de criticidade na manutenção dos disjuntores que poderão apresentar problemas técnicos, realizado uma manutenção preventiva, comparando com o método já utilizado pela empresa distribuidora. Os resultados encontrados demonstram maior precisão que o modelo apresentado pela distribuidora atualmente. Apesar dos resultados obtidos serem satisfatórios, seu uso é indicado apenas como ferramenta de apoio às equipes e especialistas. Visto que seus fatores ainda devem ser ajustados, para uma melhor taxa de previsibilidade, onde algumas amostragens a data para manutenção ficou muito próxima da data da falha do disjuntor.

**Palavras-chave:** Logica Fuzzy; Subestação Elétrica; Disjuntores; Manutenção.

### **ABSTRACT**

In electric power supply, in order for electric power substations to continue to operate, the maintenance of the electrical equipment present is of utmost importance. Currently there are several forms of preventive maintenance scheduling, where each power supply company adopts an existing method or develops a new method. To perform this work, we used the methodology of fuzzy logic that enables the calculation of reliability among the uncertainties, in order to classify the degree of criticality in the maintenance of circuit breakers that may present technical problems, performed a preventive maintenance, comparing with the method already used by the distribution company. The results found demonstrate greater accuracy than the model currently presented by the distributor. Although the results obtained are satisfactory, its use is only indicated as a support tool for teams and specialists. Since its factors still need to be adjusted, for a better predictability rate, where some samples the maintenance date is very close to the breaker failure date.

**Keywords:** K-Means; KNN; Geolocation; Traffic Accidents; Euclidean.

## INTRODUÇÃO

As interrupções no fornecimento de energia elétrica, pelas falhas dos equipamentos elétricos das subestações produzem grandes problemas para a sociedade, e por consequência geram elevados prejuízos financeiros para as concessionárias. Esses desligamentos geram penalizações por indisponibilidade operacional, degradação da imagem das empresas do setor de distribuição de energia elétrica, gerando prejuízos para terceiros. Sendo que as concessionárias são responsáveis pelas interligações desse grades blocos de energia (Vier, 2019).

E para garantir a qualidade nos serviços de fornecimento de energia a ANEEL (Agência Nacional De Energia Elétrica), monitora e fiscaliza indicadores referentes a qualidade do fornecimento de energia elétrica na transmissão e distribuição das empresas prestadoras desses serviços. Se destacam os indicadores de continuidade coletivos, conhecido como DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) (ANEEL, 2022).

Próximos a estes centros de energia estão localizadas as subestações elétricas para atender a demanda de energia dos consumidores. Para que as subestações possam continuar operando se faz necessário as manutenções dos equipamentos elétricos presentes, prática que com o passar dos anos foi se aprimorando de forma a obter uma melhor assertividade com relação as manutenções, utilizando as manutenções preventivas, preditivas e corretivas (Oliveira et al., 2021a).

A manutenção preventiva tem como característica ser uma manutenção planejada, de forma a estar sempre sendo realizada de forma periódica (Silva *et al.*, 2019).

Sendo um conjunto de ações preventivas executadas em intervalos fixos ou de acordo com critérios preestabelecidos, com o objetivo de reduzir ou eliminar a incidência de falhas ou a degradação das funções de um equipamento (Xenos, 2014).

A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência dos problemas, sendo empregada em casos de urgência, sendo dividida em manutenção corretiva paliativa, uma manutenção de emergência até ser possível estabelecer as condições originais, e a manutenção corretiva curativa, uma manutenção com a reposição da condição original definitiva (Matos, 2021).

Já as manutenções preditivas, que tem como função “predizer” quando há a necessidade de realizar a manutenção em determinado equipamento (Silva *et al.*, 2019).

Consiste em avaliar o equipamento ou sistema, por meio de especialistas e técnicas sem tirá-los de operação, de forma a detectar falhas escondidas e ocultas, de forma a serem corrigidas mantendo a operação do sistema ou equipamento (Pereira, 2020).

Um dos equipamentos presente nas subestações são os disjuntores, equipamentos de comutação e seccionamento que são responsáveis por conduzir ou interromper a corrente elétrica que circula por um circuito em situações de curto-circuito ou faltas. Trabalhando assim em situações normais ou anormais de funcionamento, podendo operar de forma automática ou manual. (Vianna, 2016; Pereira, 2020).

De modo que existem vários tipos e modelos de disjuntores, onde seus níveis de tensão e meios de extinção podem variar conforme seus fabricantes sendo por: extinção a ar, extinção a óleo, extinção a gás, e outros, o que permite classificar suas características construtivas (Mamede, 2019; Karimabadi *et al.*, 2020).

A falha nestes equipamentos pode causar uma interrupção da rede ou a chamada “falha em cascata” levando ao colapso do sistema de energia. Tendo isto em vista, a necessidade de garantir seu pleno funcionamento é necessário a implementação de estratégias de manutenção apropriadas para garantir a operação contínua dos disjuntores (LU; LI, 2021).

Como em máquinas industriais, os disjuntores também contemplam um mecanismo de funcionamento complexo e confiável, de modo a garantir a extinção dos arcos elétricos em seu interior, assim este mecanismo tem a necessidade de uma manutenção de qualidade e assertiva em seus métodos de atuação e programação (Mamede, 2019).

Um dos métodos aplicáveis para auxiliar nas manutenções, é pela aplicação da lógica fuzzy, do tipo Mandani, que auxilia na tomada de decisões nas manutenções, por meio de indicações de prioridades baseados na opinião dos usuários do equipamento (Vianna, 2016). Diferente da lógica booleana que só traz 2 valores 0 ou 1, a lógica fuzzy ou também conhecida como lógica nebulosa ou difusa traz multivalores entre 0 e 1 (Cox, 1994).

O objetivo deste trabalho, é classificar o grau de criticidade na manutenção dos disjuntores que poderão apresentar problemas técnicos, realizado uma manutenção preventiva, comparando com o método já utilizado pela empresa distribuidora.

## REFERENCIAMENTO TEÓRICO

No Brasil, devido ao grande potencial hídrico do país a geração de energia elétrica por meio da transformação da energia hidráulica em energia elétrica, tem predominância em relação aos outros meios de geração (COSTA *et al.*, 2018; Oliveira, 2021b).

Desta forma a transmissão e distribuição desta energia deve ser feita, de forma a garantir a qualidade e continuidade necessária para o pleno uso do consumidor, preservando seus equipamentos e sua segurança (Pinto, 2013; Robba, 2020; Mamede, 2019).

A garantia desse serviço se deve ao pleno funcionamento do sistema elétrico e seus equipamentos. Dentre eles os disjuntores se destacam por sua grande importância na planta de uma subestação de energia elétrica (Santos, 2013; Silveira *et al.*, 2022).

Os disjuntores são responsáveis por realizar o seccionamento e ao reestabelecimento das correntes elétricas em um determinado ponto do circuito (DEGHANIAN; GUAN, KEZUNOVIC, 2018; MAMEDE, 2019).

As manutenções preventivas nesses equipamentos são primordiais para o sistema elétrico, estima-se que os disjuntores são responsáveis por aproximadamente 45% das falhas no sistema elétrico. (Katschinski; Olszewski; Schaeffle, 1998).

Segundo dados fornecidos pela Distribuidora Energisa Sul-Sudeste (ESS), a empresa em sua regional Oeste, tem 148 disjuntores de média tensão em seus ativos, sendo 54% responsáveis por mais 1000 unidades consumidoras (ESS, 2016).

As falhas nestes equipamentos geram grandes impactos nos indicadores DEC e FEC, que são utilizados pela ANEEL, para a classificação do ranking das distribuidoras do Brasil. Esse ranking é gerado pela qualidade dos serviços de distribuição de energia elétrica, que é classificado pelo Indicador de Desempenho Global de Continuidade também conhecido pela sigla DGC, que consiste na média aritmética simples dos indicadores DEC e FEC, visto na fórmula (1) (ANEEL, 2021).

$$DGC = \frac{(DEC+FEC)}{2} \quad (1)$$

Fonte: (ANEEL, 2021).

No ano de 2020 a Energisa Sul-Sudeste – Distribuidora de Energia S.A obteve um DGC de 0,62, chegando ao 3º lugar no ranking das distribuidoras de grande porte do país, ficando abaixo da Equatorial Pará Distribuidora de Energia S.A em 2º lugar com um DGC de 0,61 e em 1º lugar a Companhia Jaguari de Energia com um DGC de 0,56 (ANEEL, 2021).

Com a necessidade de garantir um funcionamento correto aos disjuntores, ao longo do tempo foram desenvolvidas várias técnicas para os meios de extinção dos disjuntores (Žarković; Stojković, 2019).

O desgaste do disjuntor está relacionado ao tempo de operação que ele está sendo submetido, e a frequência de interrupções que o disjuntor executa em seu tempo de operação (Pereira, 2020).

A avaliação do desgaste dos disjuntores é dividida em três grandes componentes, sendo eles: Avaliação de Isolamento; Avaliação de Contatos; Avaliação Parte Mecânica (Santos, 2013).

Devido ao desgaste do disjuntor e pela passagem da corrente elétrica pelo equipamento, o disjuntor pode apresentar aumento nas temperaturas de seus contatos, necessitando de inspeções termográficas, um tipo de inspeção preventiva realizada para verificar a temperatura dos contatos se baseando conforme a diferença entre as fases, estes dados são revisados da seguinte forma: Emergencial (diferença entre fases acima de 50°C): Deverá ser corrigida imediatamente; Urgente (diferença entre fase entre 10°C e 50°C): Deverá ser corrigido em 6 meses, antes da próxima inspeção. Programável (entre 5°C e 10°C de diferença entre fases): Não há prazo para correção, havendo intervenção somente caso haja intervenção por outro motivo no equipamento ou barramento. (ESS, 2016).

Na Energisa existem vários tipos de manutenção preventivas em diversos equipamentos diferentes, de forma que este tipo de manutenção em disjuntores é denominado como manutenção C2, sendo o método mais completo usado (ESS, 2016).

A avaliação de isolamento, devido a função do disjuntor ser interromper as correntes, suas características de isolamento devem apresentar resultados satisfatórios (Santos, 2013; Vianna, 2016).

Existem vários equipamentos e métodos, que realizam este tipo de medição em disjuntores o utilizado pelas equipes da ESS, segundo procedimento de operação é o megometro (ESS, 2016).

Esta medição consiste em realizar a aplicação de uma alta tensão em corrente contínua, pelo meio isolante do equipamento gerando medições no megometro (Rocha, 2019).

Neste ensaio é realizado comumente uma montagem em dois estágios, o primeiro o disjuntor estando com seus contatos abertos e o segundo com os contatos fechados (Pereira, 2020).

Com os contatos do disjuntor abertos, a medição tem como objetivo medir a isolação da bucha de porcelana e o óleo utilizado na câmara de extinção (Santos, 2013).

Já com os contatos do disjuntor abertos tem como objetivo averiguar a isolação da haste isolante, onde o teste é realizado entre a mesma e a massa do equipamento (Santos, 2013; Hu *et al.*, 2022).

Os contatos dos disjuntores são os responsáveis por conduzir a corrente elétrica e fazem a ponte entre os polos de entrada e saída dos disjuntores (Santos, 2013; Rocha, 2018).

Uma das formas de avaliar a real situação dos contatos sem atuar na câmara de extinção do equipamento é realizando as medições entre os terminais do disjuntor (Santos, 2013).

Os ensaios consistem em realizar a passagem de uma corrente elétrica entre os contatos e medir a queda de tensão obtida. Estes valores devem ser obtidos em microohms (Santos, 2013).

A avaliação da parte mecânica tem como objetivo avaliar vários fatores, dentre eles a análise visual do equipamento e a avaliação de velocidade de operação (Santos, 2013).

Na distribuidora Energisa Sul-Sudeste, as manutenções preventivas são realizadas de forma periódica. E o método utilizado pela ESS leva em considerações o meio de extinção, modelo/fabricante e o fator de periodicidade, representados na Tabela 1 (ESS, 2016).

**Tabela 1.** Critérios Manutenção dos Disjuntores

Fabricante	Meio de extinção	Fator de Periodicidades (anos)
Sprecher e AEG.	Óleo/Vácuo	0,5
AEG.	Vácuo	0,5
WHIPP e BOURNE	SF6	1
Sprecher, Magrini e Alston	Óleo	1
Cooper, Alston, Artech, Shneider, Areva, ABB, EATON,	Vácuo/SF6	2
Noja, Schneider, Artech ITB, Chardon, ABB e Cooper	Vácuo/SF6	4
Siemens, Areva, Alston, CG Power, Sprecher, GE, ABB e ITB	Vácuo/SF6	6

Fonte: (ESS, 2022).

A Tabela 1 foi construída com base nas planilhas de programação de manutenção de disjuntores da Energisa Sul-Sudeste, onde na primeira coluna é descritos os fabricantes dos disjuntores, na segunda coluna é informado qual é o meio de extinção do disjuntor, se é a óleo, a vácuo ou SF6 (Hexaflureto de Enxofre) e na terceira coluna é descrito o fator de periodicidade, que é o intervalo entre as manutenções do disjuntor, onde o fator 0,5 é referente a duas manutenção por ano, o fator 1 a cada um ano, o fator 2 a cada dois anos e assim suscetivelmente (ESS, 2022).

Com base na tabela 1, o planejamento das manutenções preventivas dos disjuntores é formado utilizando a última data de manutenção realizada, somando-se ao valor do fator multiplicado pelos dias do ano para se obter a próxima data de programação, visto na fórmula (2) (ESS, 2022).

$$P = da + (F \times 365)$$

$P = \text{prox. data de programação}$  (2)

$F = \text{Fator de periodicidade}$

Fonte: (ESS, 2022).

A lógica Fuzzy, também conhecida como Nebulosa ou Difusa foi desenvolvida por Zadeh em 1965 (Rocha, 2018).

Sendo utilizada para tratar problemas onde à imprecisão e a incerteza são variáveis complexas que dificultam a implementação nos moldes convencionais trabalhando com valores que geralmente não são bem definidos numericamente (Ferreira, 2019).

Com base em escalas com um intervalo de 0 a 1 graus de pertinência (graus de verdade). A lógica difusa categoriza uma determinada realidade ou cenário em números, o que pode produzir muitos fatores ambíguos e ilógicos, e facilitar o trabalho e o processamento de dados (Matos, 2021).

O grau de pertinência pode ter valores em dois conjuntos e não necessariamente com o mesmo valor, como em afirmações do tipo “não muito alto” ou “bem alto” (Gavidia, 2017).

Um conjunto fuzzy é definido no universo de discurso X, caracterizado por uma função de pertinência  $\mu_A$ , a qual mapeia os elementos de X para o intervalo [0,1] (Simões; Shaw, 2007).

Desta forma, a função de pertinência associa a cada elemento x pertencente a X um número real  $\mu_A(x)$  no intervalo [0,1], que representa o grau de pertinência do elemento x ao conjunto A isto é, o quanto é possível para o elemento x pertencer ao conjunto (Simões; Shaw, 2007).

Controlador Fuzzy é um sistema de controle avançado baseado nos conceitos de conjunto fuzzy, ou seja, um conjunto sem um limite claro que pode conter elementos com certo grau de pertinência (Pires, 2007).

Em controladores convencionais utilizam a modelagem matemática para fazer o controle de seus processos, enquanto o controlador Fuzzy utilizam-se do conhecimento de um especialista na área em questão, representado na forma de regras lógicas, chamadas de regras de produção (Almeida; Silveira 2021).

Esse processamento inicial de informações é realizado pela fuzzyficação, inferência e desfuzzyficação (Biryulin; Gorlov; Kudelina, 2018)

A fuzzificação tem a função de transformar entradas discretas em saídas fuzzy, com diferentes graus de pertinência. Para ocorrer as transformações se fazem necessário a definição dos termos linguísticos a serem considerados na mensuração da variável, e sua respectiva função de pertinência (Almeida; Silveira, 2021).

A inferência realiza o processo entre as variáveis linguísticas de entrada e as variáveis linguísticas de saída (Ferreira, 2019). Composto por três módulos denominados de base de dados, base de regras e procedimentos de inferência (Gavidia, 2017).

A base de dados e base de regras é geralmente conhecido como base de conhecimento e tem como propósito caracterizar a estratégia de controle e as metas, ficando armazenadas as definições dos conjuntos fuzzy que descrevem os predicados de cada variável de entrada e saída com suas respectivas funções de pertinência as quais podem ser discretas ou contínuas. Já, a base de regras é formada por um conjunto de regras fuzzy que definem a estratégia de controle do sistema (Gavidia, 2017).

Na desfuzzyficação ocorre a transformação das variáveis linguísticas de saída em valores numéricos para serem enviados aos atuadores (Ferreira, 2019).

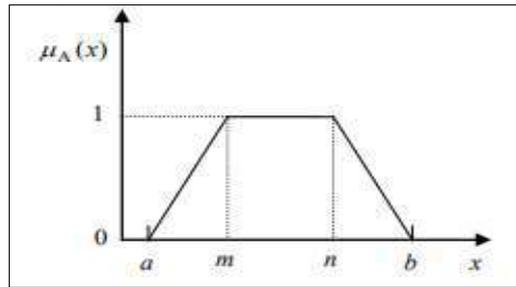
A lógica Fuzzy possui uma aplicabilidade muito extensa e em vários campos das ciências, humanas, exatas, biológicas, dependendo da percepção e experiência que o especialista tem, no assunto proposto e essas funções de pertinência podem ser demonstradas de diversas formas, uma das mais comuns a serem utilizadas é a trapezoidal (Matos, 2021).

Na função trapezoidal é fornecida pelos parâmetros a, m, n, b, com  $a \leq m$ ,  $n \leq b$  e  $m \leq n$ . Uma característica interessante desta função é permitir um intervalo de pertinência de 100% apresentada na Fórmula (3) (Matos, 2021).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0; & \text{se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a}; & \text{se } x \in [a, m] \\ 1; & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n}; & \text{se } x \in [n, b] \\ 0; & \text{se } x > b \end{cases} \quad (3)$$

Fonte: (MATOS, 2021).

Onde a, b, m, n e x pertencem ao conjunto do universo de U, podendo ser representado na Figura 1 (Matos, 2021).

**Figura 1.** Coordenadas da função trapezoidal.

Fonte: MATLAB (2018); Os Autores.

## METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi utilizado a lógica Fuzzy, que possibilita o cálculo da confiabilidade de acordo com as incertezas existentes, analisando dados que são caracterizados com base na experiência de uso dos profissionais que trabalham diretamente com os equipamentos (Vianna, 2016). Em especial foi utilizado a experiência e o aconselhamento dos profissionais da empresa de distribuição de Energisa Sul-Sudeste.

Onde foram divididos em três etapas, o primeiro passo foi a fuzzificação, que foram a aquisição de dados e definição das entradas fuzzy, o segundo processo foi a Inferência que é a aplicação da lógica e por último foi a Defuzzificação que é a obtenção dos dados de saída.

Para o levantamento das variáveis de entrada foram analisados três documentos fornecidos pela ESS, sendo planilhas de controle de manutenção, procedimentos de manutenção e histórico de eventos. Nestes documentos foram selecionados pontos ou causas que poderiam ocasionar a falha ou desgaste do disjuntor e consequências provocadas pela falha do equipamento.

Separado às possíveis variáveis de entrada para o sistema fuzzy, foram realizadas entrevistas com o engenheiro responsável pela coordenação de Manutenção e o engenheiro responsável pela coordenação de Planejamento. Nestas entrevistas os engenheiros atribuíram notas de 0 a 10 de quanto a variável influenciavam para a manutenção ou desgaste do disjuntor.

Após as avaliações dos engenheiros separamos as variáveis que obtiveram as maiores notas, resultando nos seguintes resultados, visto na tabela 2. Onde na primeira coluna apresentam as variáveis de entrada selecionadas que foram aplicadas na lógica fuzzy, sendo composta por quantidade de UC (Unidade Consumidora), quantidade de ocorrência, a localidade, a termográfica, a periodicidade e o DEC, para a segunda e terceira coluna foram as notas dadas pelos engenheiros de coordenação de manutenção e engenheiro de planejamento respectivamente.

**Tabela 2.** Resultados da entrevista com os engenheiros.

VARIAVEIS LINGUISTICAS	COORD. MANUTENÇÃO	COORD. PLANEJAMENTO
UC	6	6
Ocorrência	6	6
Localidade	2	3
Termográfica	4	4
Periodicidade	9	8
DEC	3	2

Fonte: Os autores.

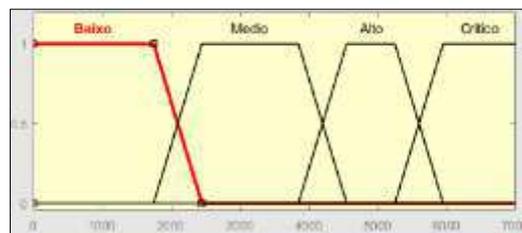
Para construção das regras e divisão dos critérios para a priorização dos dados para a entrada da variável linguísticas na lógica fuzzy, e serem representadas conforme figura 1 e serem aplicadas na fórmula (2), foi realizado conforme a experiência e aconselhamento dos engenheiros de coordenação de manutenção e de planejamento, definindo os níveis de prioridade de cada variável em baixo, médio, alto e crítico, representados na tabela de 3 a 7 e nas figuras de 2 a 7 (Sluce, 2021).

**Tabela 3.** Variável linguística UCs.

<b>Unidades Consumidoras</b>				
Nível de Prioridade	A	B	C	d
Baixo	0	0	1750	2450
Médio	1750	2450	3850	4550
Alto	3850	4550	5250	5950
Crítico	5250	5950	6650	7000

**Fonte:** Os autores.

A tabela 3 apresenta o nível de periodicidade do número de unidades consumidoras UCs, ligado aos alimentadores, dado muito importante para os indicadores DEC e FEC, pois quando maior o número de UCs, maior o impacto aos indicadores da empresa. Transformando os dados apresentados da tabela 3 em gráfico obtivemos.

**Figura 2.** Gráfico Variável Linguística UCs.

**Fonte:** Os autores.

O gráfico demonstrado na figura 2 apresenta os intervalos definidos em baixo, médio, alto e crítico para os números de unidades consumidoras.

**Tabela 4.** Variável linguística Ocorrências.

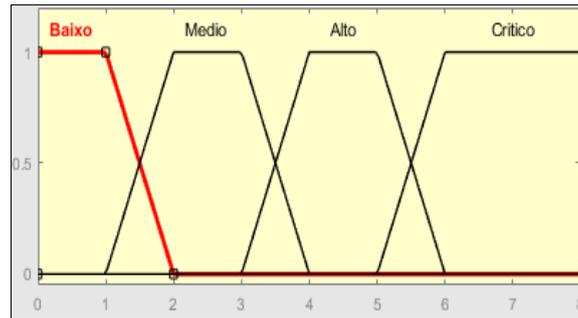
<b>Ocorrências</b>				
Nível de Prioridade	a	B	c	d
Baixo	0	0	1	2
Médio	1	2	3	4
Alto	3	4	5	6
Crítico	5	6	8	8

**Fonte:** Os autores.

A tabela 4 apresenta os níveis de periodicidade dos números de ocorrências que foram levantados conforme média de ocorrências que aconteceram a cada 6 meses (ESS, 2022);

As ocorrências referem-se à quantidade de atuações no circuito de determinado disjuntor que foram obtidas pelos relatórios disponibilizados pela empresa distribuidora de energia. Estes dados são de grande importante devido ao impacto que o disjuntor sofre no momento da atuação reduzindo seu tempo de vida (Vianna, 2016).

O número de ocorrências segundo procedimento de manutenção preventivas não é levado em consideração para a programação utilizada pela empresa Energisa, porem segundo os engenheiros entrevistados este fator tem grande impacto para o funcionamento do equipamento. Transformando os dados apresentados na Tabela 4 em gráfico obtivemos.

**Figura 3.** Gráfico Variável Linguística Ocorrências.

Fonte: MATLAB (2018); Os Autores.

O gráfico demonstrado na figura 3 apresenta os intervalos definidos em baixo, médio, alto e crítico para os números de ocorrências.

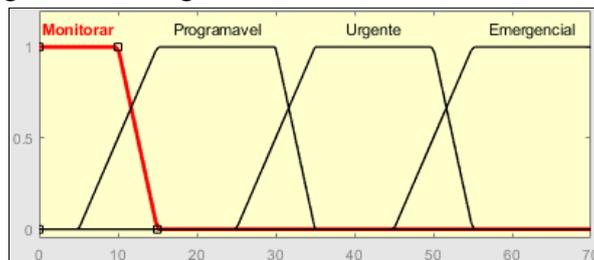
**Tabela 5.** Variável linguística termográfica.

Termográfica				
Nível de Prioridade	A	B	c	D
Baixo	0°C	0°C	10°C	15°C
Médio	5°C	10°C	30°C	35°C
Alto	25°C	30°C	50°C	55°C
Crítico	45°C	50°C	70°C	70°C

Fonte: Os autores.

A tabela 5 apresenta níveis de prioridade da variável termográficas, utilizadas em inspeções preventivas para verificar a temperatura dos contatos.

Transformando os dados apresentados na tabela 5 em gráfico obtivemos.

**Figura 4.** Gráfico Variável Linguística Termografia.

Fonte: MATLAB (2018); Os Autores.

O gráfico demonstrado na figura 4 apresenta os intervalos definidos em baixo, médio, alto e crítico para a termográfica.

**Tabela 6.** Fator de Periodicidade dos disjuntores.

Periodicidade				
Nível de Prioridade	A	b	C	D
Alto	0	0	1	2
Médio	1	2	3	4
Baixo	3	4	6	6

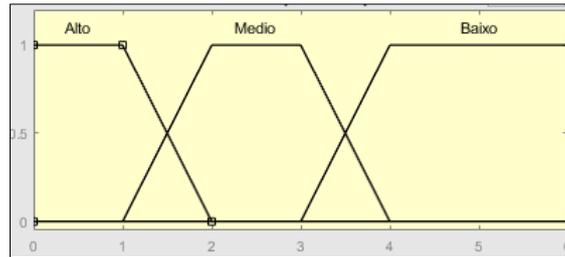
Fonte: (ESS, 2022).

O fator de periodicidade dos disjuntores foi construído com base na tabela 1, que leva em considerações as características do disjuntor que são responsáveis para a realização da extinção do arco

elétrico nos polos do disjuntor. Ao contrário da tabela utilizada pela Energisa, a tabela 6 traz o nível de periodicidades dos disjuntores de forma que possam ser aplicados no processo de fuzzyficação.

Transformando os dados apresentados na tabela 6 em gráfico obtivemos.

**Figura 5.** Gráfico variável linguística periodicidade



**Fonte:** MATLAB (2015); Os Autores.

O gráfico demonstrado na figura 5 apresenta os intervalos definidos em alto, médio e baixo para a periodicidade dos disjuntores, quanto menor o intervalo da manutenção do disjuntor mais crítico é o disjuntor.

**Tabela 7.** Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora.

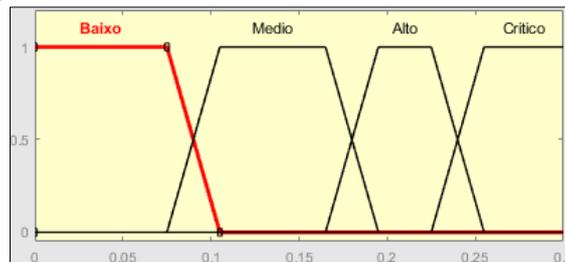
Prioridade	DEC			
	A	B	c	d
Baixo	0	0	0.078	0.11
Médio	0.078	0.11	0.172	0.204
Alto	0.172	0.204	0.2357	0.2671
Critico	0.2357	0.2671	0.2985	0.314

**Fonte:** (Os autores).

A tabela 7 apresenta o nível de periodicidade da duração equivalente de interrupção por unidade consumidora. Este dado se faz importante para verificar a quantidade de ocorrências que tiveram um impacto maior, onde para que a ocorrência é necessária um período de tempo mínimo para a contabilização, onde caracteriza uma ocorrência mais complexa de atuação.

Transformando os dados apresentados na tabela 7 em gráfico obtivemos.

**Figura 6.** Gráfico Variável Linguística DEC

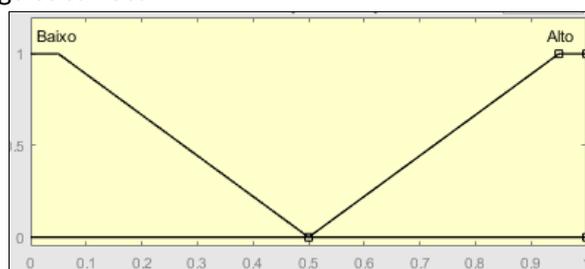


**Fonte:** MATLAB (2015); Os Autores.

O gráfico demonstrado na figura 6 apresenta os intervalos definidos em baixo, médio, alto e crítico para a os níveis do DEC.

A última variável linguística a ser utilizada como entrada no sistema Fuzzy, será a classificação dos circuitos que são localizados em áreas rurais e urbanos, caracterizando de forma que os circuitos rurais terão menor prioridade e urbanos com maior prioridade, para isso será adotado o valor 0 para circuitos rurais e o valor 1 para circuitos urbanos, separando assim em prioridade baixa em valor 0 e prioridade alta valor 1, sendo representado pelo gráfico da figura 7.

**Figura 7.** Gráfico Variável Linguística Local.



**Fonte:** MATLAB (2015); Os Autores.

O gráfico da figura 7 demonstra os intervalos de baixo e alto para a variável local.

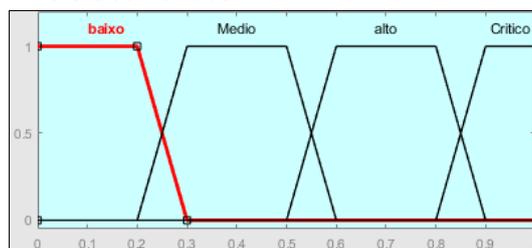
Definidos os intervalos das variáveis linguísticas de entrada para o sistema fuzzy, iniciou-se a segunda etapa a inferência.

Para a realização desta etapa utilizou-se o software MATLAB, onde foi construído um algoritmo Anexo A, que realizara a tratativa dos dados de entrada demonstrados nas figuras X e por meio da inferência, os dados de saída serão obtidos na desfuzzyficação (VIANNA, 2016).

Foram construídas três regras para as tratativas dos seis dados de entrada, a primeira regra foi utilizando a variável ocorrências e DEC, a segunda regra utilizou-se a variável termográfica e a periodicidade do disjuntor e na terceira regra utilizou-se o número de UCs com a localidade.

Chegando na última etapa tivemos como saída na desfuzzyficação os seguintes resultados demonstrados nos gráficos das figuras 2 a 7.

**Figura 8.** Gráfico da saída entre DEC e Ocorrências.

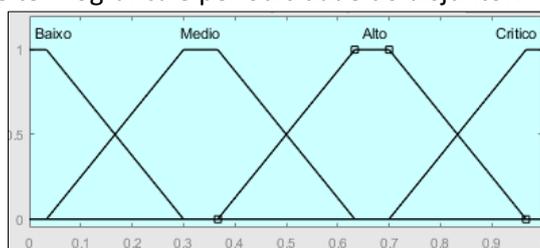


**Fonte:** MATLAB (2018); Os Autores.

O gráfico apresentado na figura 8 representa o resultado da lógica fuzzy aplicada as variáveis linguísticas DEC e ocorrências, onde demonstra os seguintes níveis de prioridade, baixo de 0 a 0,3, médio de 0,2 a 0,6, alto de 0,5 a 0,9 e crítico de 0,8 a 1.

A escolha destas variáveis na primeira regra foi definida devido as falhas que o equipamento sofreu.

**Figura 9.** Gráfico da saída entre termográfica e periodicidade do disjuntor.

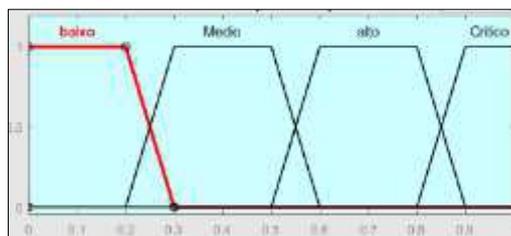


**Fonte:** MATLAB (2018); Os Autores.

O gráfico apresentado na figura 9 representa o resultado da lógica fuzzy aplicada as variáveis termográficas e periodicidade do disjuntor, demonstrando os níveis de prioridade baixo de 0 a 0,4, médio de 0,04 a 0,63, alto de 0,36 a 0,96 e crítico de 0,7 a 1.

E na escolha destas variáveis na segunda regra foi definida devido ser fatores que estão relacionados diretamente com o disjuntor.

**Figura 10.** Gráfico da saída entre localidade e números de UCs.



**Fonte:** MATLAB (2015); Os Autores.

O gráfico apresentado na figura 10 representa o resultado da lógica fuzzy aplicada as variáveis localidade e número de UCs, demonstrando os níveis de prioridade baixo de 0 a 0,3, médio de 0,2 a 0,6, alto de 0,5 a 0,9 e crítico de 0,8 a 1.

A escolha destas variáveis na terceira regra foi definida devido a emergência da manutenção, ou seja, quanto maior a quantidade de unidades consumidoras maior será os impactos aos indicadores DEC E FEC em momentos de desligamento, ocasionando maior impacto ao indicador DGC visto na fórmula 1.

Com base no método utilizado pela ESS fórmula 2, criamos um método similar para obtenção das datas de programação para o primeiro semestre de 2022 com a aplicação das saídas da lógica fuzzy apresentadas nos gráficos das figuras 2 a 7.

$$P = da + 0,5 \left( \frac{(C1 \cdot 0,2) + (C2 \cdot 0,6) + (C3 \cdot 0,2)}{3} \right) * 365$$

$$p = \text{prox. data fuzzy}$$

$$C1 = \text{critério 1} \quad (4)$$

$$C2 = \text{critério 2}$$

$$C3 = \text{critério 3}$$

$$da = \text{data ultima manutenção prev.}$$

Fonte: Os autores.

Os critérios apresentados na fórmula (4) são referentes as saídas da lógica fuzzy, onde o peso de cada variável foi atribuído com base nas notas dos engenheiros apresentados na tabela 2. Desta forma o critério 1 terá peso de 20% na priorização dos dados o critério 2 terá peso 60% e o critério 3 terá 20% de peso nas tratativas dos dados.

## RESULTADOS

Para a obtenção dos resultados foram necessários a utilização de alguns documentos fornecidos pela empresa distribuidora de energia Energisa Sul-Sudeste.

Estes documentos forneceram informações das datas das ocorrências, informações dos equipamentos e a programação de manutenção dos disjuntores.

Separando as 6 variáveis de entrada apresentada nas figuras 2 a 7 dos disjuntores da distribuidora, da regional de Presidente Prudente e região, sendo 122 disjuntores, porem como a ideia é realizar a comparação dos disjuntores que tiveram ocorrências nos últimos seis meses, realizamos o filtro de somente os disjuntores que tiveram ocorrências nos seis primeiros meses do ano de 2022.

As variáveis de entrada de cada disjuntor foram separadas em planilhas e importadas para o Toolbox do software MATLAB. Com os dados de entrada dos disjuntores foi aplicado ao algoritmo de programação para análise dos dados gerando os vetores resultantes das regras elaboradas.

Desta forma para melhor manuseio dos dados foram usadas planilhas de Excel para organizar os resultados de cada regra, de forma que cada equipamento recebesse 3 resultados demonstrado na tabela 9, sendo composta por quatro colunas, na primeira coluna é separado por disjuntor e na segunda, terceira e quarta coluna são os critérios das três regras estabelecidas que foram aplicadas na fórmula (4).

**Tabela 9.** Amostra Saída Fuzzy.

<b>AMOSTRA DE DADOS OBTIDOS</b>			
<b>DISJUNTORES</b>	<b>CRITERIO 1</b>	<b>CRITERIO 2</b>	<b>CRITERIO 3</b>
52-4105	0,312989	0,11896211	0,1241414
52-1407	0,2214374	0,5	0,4000206
52-4104	0,5399912	0,5	0,1241414
52-2501	0,5020966	0,5	0,1241414

**Fonte:** Os autores.

A tabela 9, demonstra uma pequena parcela dos dados obtidos pelos resultados dos cálculos da lógica fuzzy aplicada. Pode-se observar que cada disjuntor recebeu 3 valores que variam de 0 a 1 conforme o resultado de cada regra, onde o critério 1 representa a saída 1, o critério 2 representa a saída 2 e o critério 3 representa a saída 3.

Assim utilizando o disjuntor 52-4105 o critério 1 está em torno de 0,3 onde se observar a figura 8 do gráfico da resultante 1 este valor está com criticidade entre média e baixa, já no critério 2 e 3 ao ser observado as figuras 9 e 10, os resultados estão com criticidade baixa.

Para a comparação dos resultados obtidos foi necessário realizar a associação destes valores aos índices de programação já utilizados no método de programação pela empresa de distribuição de energia.

Assim foi aplicado o formato do método proposto vistos na fórmula (4), onde cada critério recebeu seu devido peso diante das informações repassadas pelos profissionais.

Este método assim como o já utilizado fornece datas que seriam usadas na programação de manutenção dos disjuntores, desta forma o método resultou em uma planilha que propõe as datas para a manutenção.

Assim para a comparação dos dois formatos de programação para manutenção foi elaborado uma tabela, indicando as datas propostas por cada método sendo o da Energisa e o método fuzzy, devido os dados de entrada da logica serem referentes ao segundo semestre de 2021, foi levado em consideração as ocorrências no primeiro semestre do ano de 2022, na regional oeste da distribuidora da Energisa Sul Sudeste. Pois o método fuzzy utiliza os dados do semestre anterior para propor novas datas de programação para o próximo semestre.

Desta forma foi montada uma tabela de comparação, onde se destaca por equipamento a data da ocorrência do equipamento no primeiro semestre de 2022, a data programada pelo método da Energisa e a simulação das datas que o método Fuzzy iria propor. Pode-se observar na tabela 10 uma amostra dos dados de comparação.

**Tabela 10.** Comparação das datas de manutenção preventivas.

<b>Disjuntores</b>	<b>Fuzzy</b>	<b>Energisa</b>	<b>Ocorrência</b>
52-1411	16/12/2021	25/05/23	25/06/22
52-4105	21/04/2022	13/04/22	23/04/22
52-1407	26/04/2022	13/01/22	23/04/22
52-2202	18/12/2021	06/07/23	19/07/22
52-6105	06/02/2022	23/03/22	02/04/22
52-5105	01/02/2022	16/04/22	16/02/22
52-2310	06/12/2021	25/07/22	14/05/22
52-6102	23/01/2022	09/03/22	13/04/22
52-5102	28/02/2022	25/07/22	12/06/22
52-3302	05/03/2022	20/04/22	24/04/22
52-1307	17/12/2021	31/01/27	29/06/22
52-1302	21/12/2021	22/06/25	23/04/22
52-6101	23/01/2022	09/03/22	09/08/22
52-1105	09/12/2021	30/11/22	23/04/22
52-1101	21/03/2022	06/05/23	23/04/22
52-1301	19/11/2021	04/07/25	25/04/22
52-1402	27/02/2022	31/01/27	21/03/22
52-1304	04/10/2021	27/05/23	09/04/22
52-1102	05/01/2022	06/05/23	22/06/22
52-4103	19/11/2021	04/07/25	18/02/22
52-1408	04/01/2022	31/05/24	09/04/22
52-2204	24/11/2021	04/05/22	02/05/22
52-3301	05/03/2022	20/04/22	23/04/22

Fonte: (O autor).

Na tabela 10 é apresentado na primeira coluna os disjuntores que foram analisados, na segunda coluna a data da manutenção preventiva proposta com a utilização da logica fuzzy, na terceira coluna a data de manutenção pelo método da concessionaria e na quarta coluna a data em que ocorreu a ocorrência no disjuntor.

Foram observados através dos resultados obtidos na tabela 10, que dentro os 23 disjuntores averiguados somente o disjuntor 52-1407 que a logica fuzzy preveniu uma data para manutenção depois da ocorrência demonstrado na tabela 11.

**Tabela 11.** Data das manutenções fuzzy depois da ocorrência.

<b>Disjuntores</b>	<b>Fuzzy</b>	<b>Energisa</b>	<b>Ocorrência</b>
52-1407	26/04/2022	13/01/22	23/04/22

Fonte: Os autores.

Já nos outros 22 disjuntores a lógica fuzzy detectou a necessidade de manutenção antes da data da ocorrência.

Na programação da empresa, foram identificados dos 23 disjuntores analisados 15 disjuntores apresentaram uma data para a manutenção preventiva depois de ter ocorrido a ocorrência, podendo ser analisados na tabela 12.

**Tabela 12.** Datas das manutenções Energisa depois da ocorrência.

Disjuntores	Fuzzy	Energisa	Ocorrência
52-1411	16/12/2021	25/05/23	25/06/22
52-5105	01/02/2022	16/04/22	16/02/22
52-2310	06/12/2021	25/07/22	14/05/22
52-5102	28/02/2022	25/07/22	12/06/22
52-1307	17/12/2021	31/01/27	29/06/22
52-1302	21/12/2021	22/06/25	23/04/22
52-1105	09/12/2021	30/11/22	23/04/22
52-1101	21/03/2022	06/05/23	23/04/22
52-1301	19/11/2021	04/07/25	25/04/22
52-1402	27/02/2022	31/01/27	21/03/22
52-1304	04/10/2021	27/05/23	09/04/22
52-1102	05/01/2022	06/05/23	22/06/22
52-4103	19/11/2021	04/07/25	18/02/22
52-1408	04/01/2022	31/05/24	09/04/22
52-2204	24/11/2021	04/05/22	02/05/22

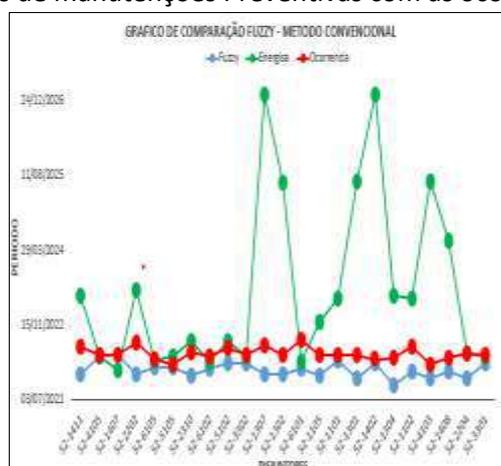
Fonte: Os autores.

Para melhor análise dos dados obtidos, e para que seja comparada com as datas das manutenções preventivas da distribuidora e com as datas que ocorreram as ocorrências nos disjuntores foi gerado o gráfico 1 com base nos resultados apresentados na tabela 10.

Separando de forma mais clara a comparação entre os métodos de programação com as ocorrências.

Onde pode-se observar que as datas das manutenções preventivas da Energisa, não preveem devidamente as ocorrências, pois alguns equipamentos estão com a manutenção preventivas programadas para o final do ano, entretanto já ocorreram falhas nos equipamentos nos meses iniciais do ano.

Já no método proposto com a utilização da logica Fuzzy, pode-se observar que existe uma previsibilidade das ocorrências maior que da concessionária, onde na linha da logica Fuzzy, grande parte do gráfico antecipa a ocorrência prevendo uma manutenção no equipamento.

**Gráfico 1.** Comparação das datas de manutenções Preventivas com as ocorrências

Fonte: Os autores.

O gráfico 1 apresenta os resultados que foram obtidos neste trabalho, onde no eixo vertical apresenta o período e no eixo horizontal os disjuntores analisados. O gráfico em cor verde é referente a

programação das manutenções elaboradas pela Energisa Sul-Sudeste, na cor azul a programação que foi estabelecida pelo uso da lógica fuzzy e em vermelho as ocorrências que ocorreram nos disjuntores.

Conforme observado no gráfico existe uma diferença considerável entre os formatos de programação usados pela distribuidora Energisa com o método realizado neste trabalho.

Pode-se observar que em alguns casos o gráfico tem um salto considerável na programação atual, onde alguns equipamentos têm previsão para manutenção alguns anos após a ocorrência.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos deste trabalho consistem no estudo para antecipar as datas das futuras manutenções preventivas dos disjuntores de média tensão, antes que ocorra a falha do equipamento necessitando uma manutenção corretiva.

Sendo assim o método proposto se fez satisfatório considerando uma amostra de disjuntores. Assim é possível verificar que na maioria dos disjuntores estudados o método foi mais eficaz que o método de programação usado pela empresa atualmente, apresentando datas de programação sempre anteriores a falha, provando ser uma ferramenta confiável para uso no auxílio para a priorização na programação de manutenção, para disjuntores de média tensão.

Apesar dos resultados obtidos serem satisfatórios, seu uso é indicado apenas como ferramenta de apoio às equipes e especialistas. Visto que seus fatores ainda devem ser ajustados, para uma melhor taxa de previsibilidade, onde foi verificado que a data para a manutenção ficou muito próxima da data da falha.

O trabalho apresenta as seguintes limitações: (i) foram analisados os dados de somente uma região de uma empresa de distribuição de energia elétrica, sendo necessário a pesquisa em outras empresas do mesmo seguimento; (ii) a pesquisa não foi realizada para disjuntores gerais de alta e média tensão, assim sugere-se que em um outro momento seja abordados estes equipamentos.

Como sugestão de novos trabalhos a utilização do método para equipamentos como transformadores de potência e reguladores de tensão.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a Energisa Sul-Sudeste por fornecer os dados estudados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. T.; SILVEIRA, C. R. **Lógica fuzzy aplicada ao controle de nível de reservatório de abastecimento de água**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE-SBAI, 15., 2021. Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: Sociedade Brasileira de Automática, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.20906/sbai.v1i1.2690>. Acesso em: 1 dez. 2023.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL Nº 956**, de 7 de dezembro de 2021. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html>. Acesso em: 2 set. 2022.

BIRYULIN, V. I.; GORLOV, A. N.; KUDELINA, D. V. **Use of the fuzzy inference system for evaluation of the cable lines insulation state**. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE ON ACTUAL PROBLEMS OF ELECTRONICS INSTRUMENT ENGINEERING (APEIE). 14., 2018. **Anais** [...]. IEEE, 2018. p. 57-61. DOI: <https://doi.org/10.1109/APEIE.2018.8546000>

CARNERO, M.; GÓMEZ, A. Maintenance strategy selection in electric power distribution systems. **Energy**, v. 129, n. 15, p. 255-272, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.100>

COSTA, L. A. *et al.* **Análise de circuitos elétricos**. São Paulo: Grupo A, 2018.

COX, E. **The fuzzy systems handbook**. Boston: AP Professional, 1994.

DEGHANIAN, P.; GUAN, Y.; KEZUNOVIC, M. Real-time life-cycle assessment of high-voltage circuit breakers for maintenance using online condition monitoring data. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 55, n. 2, p. 1135-1146, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2878746>

ESS. ENERGISA SUL-SUDESTE. Coordenação de Manutenção de Subestações. **Planejamento da manutenção preventiva e preditiva**. Presidente Prudente, SP, 2016.

FERREIRA, M. J. P. **Aplicação da matriz swot com auxílio da lógica fuzzy para definições de prioridades ao planejamento estratégico de uma empresa**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2019.

GAVIDIA, J. J. Z. **Um sistema de intervenção computacional para rastreamento e monitoramento de leitura em uma proposta de RTI**. 2017. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

HOSSEINIMOGHADAM, S. M. S.; DASHTDAR, M.; DASHTDAR, M. Improving the differential protection of power transformers based on clarke transform and fuzzy systems. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, v. 33, n. 2, p. 610-624, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40313-021-00814-w>

HU, W. *et al.* A general model, estimation, and procedure for modeling recurrent failure process of high-voltage circuit breakers considering multivariate impacts. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 220, p. 108276, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108276>

KATSCHINSKI, U.; OLSZEWSKI, W.; SCHAEFFLE, T. A new generation of control and diagnostic techniques for gas insulated switchgear. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY MANAGEMENT AND POWER DELIVERY*, 1989. Singapore. **Proceedings** [...]. Singapore, 1998. p. 607-612. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/702756>. Acesso em: 20 set. 2022.

KANGAN, N. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. São Paulo: Blucher, 2003.

KARIMABADI, A. *et al.* Determining the optimal inspection rate of circuit breakers equipped with condition monitoring devices using new maintenance Markov model. **International Transactions on Electrical Energy Systems**, v. 30, n. 4, p. e12272, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12272>

LI, P. *et al.* Modularization design methodology for high-voltage mechanical DC circuit breaker with current commutation drive circuit. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 131, p. 107019, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107019>

LI, X. *et al.* Particle swarm optimization-support vector machine model for machinery fault diagnoses in high-voltage circuit breakers. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 33, n. 1, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0428-5>

LU, Y.; LI, Y. A novel data-driven method for maintenance prioritization of circuit breakers based on the ranking SVM. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 129, p. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.106779>.

MAMEDE FILHO, J.; MAMEDE, M. R. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. São Paulo: Grupo GEN, 2020.

MAMEDE, J. **Manual de equipamentos elétricos**. 5. ed. São Paulo: LTC, 2019.

MANZIONE, R. L.; SILVA, C. O. F.; PAES, C. O. Modelagem da favorabilidade à recarga das águas subterrâneas pelo paradigma da lógica difusa. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v35i2.30030>

MATOS, C. S. C. **Gestão da manutenção e da reserva estratégica em subestações elétricas caso de estudo da EDP distribuição**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Universidade Beira Interior, Convento de STO. António, Covilhã Portugal, 2021.

OLIVEIRA, I. C. *et al.* **Proteção de Sistemas Elétricos**. São Paulo: Grupo A, 2021a.

OLIVEIRA, I. C. *et al.* **Transmissão e distribuição de energia**. São Paulo: Grupo A, 2021b.

PEREIRA, M. **Uso da lógica Fuzzy na estimação da temperatura máxima do óleo e enrolamentos em transformadores de potência**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajuba, MG, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/2542>. Acesso em: 20 ago. 2022.

PINTO, M. O. **Energia elétrica - geração, transmissão e sistemas interligados**. São Paulo: Grupo GEN, 2013.

PIRES, A. V. **Controladores baseados em técnicas de inteligência computacional: Análise, projeto e aplicações**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

RAZI-KAZEMI, A. A.; ABDOLLAH, M. Novel high-frequency-based diagnostic approach for main contact assessment of high-voltage circuit breakers. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 12, n. 5, p. 1121-1126, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.0884>

RIBEIRO, L. G. **Lógica Fuzzy aplicados ao registro de alarmes e eventos em subestações no padrão IEC 61850**. 2015. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.3.2016.tde-14072016-144257>.

ROBBA, E. J. **Análise de sistemas de transmissão de energia elétrica**. São Paulo: Blucher, 2020.

ROCHA, J. F. **Priorização da manutenção em redes de distribuição aéreas com premissas de melhorias dos indicadores de continuidade e de sustentabilidade econômico financeira**. 2018. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento em Tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, PR, 2018.

ROCHA, P. H. V. *et al.* Inspection in overhead insulators through the analysis of the irradiated RF spectrum. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 113, p. 355-361, 2019.

SANTOS, D. T. *et al.* **Sistema inteligente para apoio a programação da manutenção de disjuntores de alta tensão**. 2013. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2013.

SILVEIRA, M. F. *et al.* **Sistemas elétricos de potência**. São Paulo: Grupo A, 2022.

SILVA, V. *et al.* **Manutenção preditiva em sistemas elétricos de potência utilizando registros de dispositivos eletrônicos inteligentes**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo: Blucher, 2007.

SLUCE, P. **Proposta de avaliação de riscos em prensas hidráulicas com lógica fuzzy**. 2021. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2021.

VIANNA, E. A. L. **Priorização da manutenção em subestações com foco na confiabilidade e na remuneração da função transmissão**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

