

Metodologia para Avaliação de Obras Destinadas à Qualidade do Serviço Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial

Bruno J. S. de Sousa* Juan M. M. Villanueva**

* Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB,
(e-mail: bruno.sousa@cear.ufpb.br).

** Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB
(e-mail: jmauricio@cear.ufpb.br)

Abstract: The quality of the electricity distribution service has a great impact on consumer satisfaction and on guaranteeing the concession right for distribution companies. For the concessionaire under study, the main indicators of continuity of service are at levels below the regulatory limits, but due to budget restrictions, the forecast of benefit that the structuring works bring to the continuity indicators must be assertive, for an adequate targeting of investments and decision making. In view of this scenario, a methodology was proposed for the evaluation of works aimed at improving the quality of the service, with the estimate of the benefit associated with the reduction in continuity indicators, using concepts of Artificial Neural Networks (ANN) and Genetic Algorithms (AG). The data used were extracted from the distributor's databases and analyzed to identify the input variables and propose prediction models for the outputs of interest. The historical values of interruptions due to causes were considered as input and the results of continuity indicators associated with the types of works studied form the outputs of the model. The RNA topology used was the Multi Layer Perceptron (MLP). The results obtained by simulating the new methodology showed errors almost 100 times smaller for estimating the benefits of the works compared to the current method used by the distributor.

Resumo: A qualidade do serviço de distribuição de energia elétrica apresenta grande impacto na satisfação do consumidor e na garantia do direito de concessão para as empresas distribuidoras. Para a concessionária em estudo, os principais indicadores de continuidade do serviço estão em patamares abaixo dos limites regulatórios, mas devido às restrições orçamentárias, a previsão de benefício que as obras estruturantes trazem aos indicadores de continuidade deve ser assertiva, para um direcionamento adequado dos investimentos e tomada de decisões. Diante desse cenário, foi proposta uma metodologia para avaliação de obras destinadas à melhoria da qualidade do serviço, com a realização da estimativa do benefício associado à redução nos indicadores de continuidade, utilizando conceitos de Redes Neurais Artificiais (RNA) e Algoritmos Genéticos (AG). Os dados utilizados foram extraídos de bancos de dados da distribuidora e analisados para identificação das variáveis de entrada e proposição de modelos de predição das saídas de interesse. Os valores históricos de interrupções por causas foram considerados como entrada e os resultados dos indicadores de continuidade associados aos tipos de obras estudados formam as saídas do modelo. A topologia de RNA usada foi a *Multi Layer Perceptron* (MLP). Os resultados obtidos pela simulação da nova metodologia apresentaram erros quase 100 vezes menores para estimativa dos benefícios das obras em comparação ao método atual utilizado pela distribuidora.

Keywords: Quality of service; continuity indicators; artificial neural networks; genetic Algorithms; investment works; benefit of works.

Palavras-chaves: Qualidade do serviço; indicadores de continuidade; redes neurais artificiais; algoritmos genéticos; obras de investimento; benefício das obras.

1. INTRODUÇÃO

Em 2019, segundo dados da PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios), o acesso à energia elétrica nos domicílios brasileiros atingiu cobertura praticamente universal, com 99,8% das residências dispondo desse serviço (IBGE (2019)). Devido à crescente necessidade de energia elétrica e a maior exigência por parte dos consumidores e órgãos reguladores, é de fundamental importância que uma

distribuidora de energia elétrica entregue um serviço de qualidade, atentando para a segurança de seus funcionários, continuidade e eficiência do serviço.

Dentre os diversos assuntos acompanhados pelos órgãos reguladores, os indicadores da qualidade do serviço desempenham grande importância no acompanhamento do desempenho da concessão da distribuição de energia, garantindo uma entrega contínua e confiável. A qualidade dos serviços prestados compreende a avaliação das interrupções

no fornecimento de energia elétrica e planejamento de investimentos futuros adequados para garantia de cumprimento de limites estabelecidos pelo regulador.

Para tal, pode-se destacar os indicadores de continuidade coletivos DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e os indicadores de continuidade individuais DIC (Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão), FIC (Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão), DMIC (Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão) e DICRI (Duração da Interrupção Individual Ocorrida em dia Crítico por Unidade Consumidora ou Ponto de Conexão) todos definidos no Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrico Nacional) (ANEEL (2021)).

Para garantir o atendimento aos diversos indicadores da qualidade do serviço, a distribuidora investe continuamente em tecnologias visando otimizar o desempenho da rede, fazendo com que a continuidade se torne cada vez mais eficiente. Indicadores como o DEC e FEC recebem um maior destaque no acompanhamento e nas análises da distribuidora sendo fundamental o entendimento das causas de interrupção para uma melhor efetividade na destinação das ações para prevenção das ocorrências de falta (Junior (2016)).

No planejamento de obras da rede de distribuição, parte do orçamento de investimento é destinado às ações para enfrentamento das faltas na rede, que consequentemente impactam positivamente nos resultados dos indicadores de continuidade (Almeida (2010)). Do ponto de vista da qualidade do fornecimento de energia elétrica no país, os indicadores de continuidade melhoraram significativamente de 2021 a 2020, tendo a duração das interrupções reduzida cerca de 38% e a frequência, 46%, nesse período (ANEEL (2022)).

Por isso, um assunto bastante avaliado e discutido pelas distribuidoras de energia é a estimativa da redução nos indicadores da qualidade do serviço, ou seja, qual a redução esperada em DEC e FEC que uma determinada obra proporcionará. A forma como esse benefício é estimado apresenta diversas oportunidades de melhorias, como a criação de uma metodologia que leve em consideração a análise de variáveis que estejam relacionadas ao desempenho da obra nos resultados dos indicadores (Magalhães (2017)).

Para o planejamento dos benefícios na qualidade do serviço, é necessária a realização de uma análise preliminar após a realização da obra, para estimação do benefício que de fato está associado àquela intervenção em específica. Com isso pode-se prever com maior assertividade o desempenho de obras futuras, garantindo uma tomada de decisão mais concisa por parte dos responsáveis pelo gerenciamento dos investimentos e indicadores.

Ferreira et al. (2021) elaborou uma metodologia para análise dos impactos dos investimentos em manutenção na rede de distribuição nos indicadores de continuidade (DEC, FEC e Compensações) baseada em modelos de *Machine Learning* e Regressão com Dados em Painel para a distribuidora de energia Light, localizada no Rio de Janeiro. Neste trabalho, foi dividido em duas partes, na primeira etapa, as características técnicas das redes elétricas foram utilizadas para o agrupamento das linhas por semelhança utilizando o algoritmo de clusterização *k-means*. Na segunda etapa, partindo dos agrupamentos anteriormente definidos foi realizada a regressão com dados em painel das ações de manutenção das redes utilizando o modelo de efeito fixo. Os resultados alcançados mostraram-se efetivos tendo em vista os baixos erros de estimativa dos índices DEC, FEC e compensação financeira.

Portanto, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação de obras destinadas à melhoria da qualidade do serviço. Além disso, aplicar técnicas de Redes Neurais Artificiais (RNA) e Algoritmos Genéticos (AG) para auxílio à avaliação de obras que melhor contribuam para redução dos indicadores de qualidade do serviço, cumprindo os limites estabelecidos pelo órgão regulador e garantindo, aos consumidores, um fornecimento de energia elétrica com maior qualidade. Com a finalidade de obter os resultados, foram utilizadas bases de dados de uma concessionária de distribuição de energia brasileira.

2. METODOLOGIA

2.1 Planejamento Orçamentário

O módulo 2 do PRODIST estabelece as diretrizes e etapas para planejamento da expansão do sistema de distribuição. O sistema de distribuição de energia elétrica é avaliado anualmente, de acordo com os critérios técnicos estabelecidos pelo órgão regulador, e em seguida, são propostas obras para solução dos problemas identificados. Muitas alternativas de obras são estudadas, mas devido restrições orçamentárias e capacidade técnica de execução, é necessária uma metodologia para avaliação e escolha das melhores alternativas de obras, que gerem os melhores benefícios ao sistema.

Com relação às obras destinadas à melhoria da qualidade do serviço, a escolha das melhores alternativas é feita através da avaliação dos benefícios estimados para contribuição na redução dos indicadores de continuidade coletivos.

Diante desse contexto, são apresentadas a seguir as principais bases de dados e proposta de metodologia para estimativa da redução em DEC e FEC das alternativas de obras estruturantes, e a utilização das técnicas de RNA e AG para cálculo do benefício esperado.

2.2 Construção da Base de Dados

A distribuidora de energia em estudo dispõe de uma grande quantidade de dados coletados em campo, registro de

interrupções ou de cadastro, todas essas informações são registradas em campo e disponíveis em sistemas da distribuidora. A base de registro de interrupções contém as informações que são utilizados para a apuração dos indicadores da qualidade do serviço e análises de planejamento elétrico.

De maneira geral, o cálculo do benefício em DEC e FEC é feito aplicando um percentual de redução (fator multiplicativo) aos valores totais dos indicadores na região de abrangência da obra de acordo com o tipo e obra, sem levar em consideração as causas das interrupções. A primeira investigação foi analisar a capacidade de benefícios associados às obras nas interrupções de acordo com as causas das faltas.

A lista de causas registradas, de acordo com a distribuidora em estudo, está apresentada na Tabela 1. Exemplo, uma obra de recondução pode reduzir consideravelmente ocorrências relacionadas à árvore na rede e cabo partido, mas não ser eficaz em ocorrências como falha em equipamentos.

Tabela 1. Causas de Interrupção

Causas das Interrupções
Árvore na Rede
Cabo Partido ou deteriorado
Defeito em Conexão
Defeito em Isolador
Distribuição Programada
Falha em Equipamento (Linha / Rede)
Fenômenos Naturais
Ignorada
Outros
Poste Quebrado/ Danificado
Terceiros
Transmissão Não Programada
Transmissão Programada
Unidade Consumidora

2.3 Estrutura da Metodologia Proposta

Entendido o problema do planejamento dos benefícios da qualidade do serviço e conhecendo as bases de dados disponíveis para estudo, iniciou-se a escolha das variáveis e estruturação de uma proposta de metodologia que usa redes neurais artificiais e algoritmos evolutivos para predição de tais benefícios. A proposta apresentada nesse trabalho segue uma estrutura conforme Figura 1.

A metodologia proposta foi dividida em 3 partes, essa separação foi feita de forma a apresentar de maneira clara todas as etapas desenvolvidas e os resultados obtidos em cada fase do trabalho.

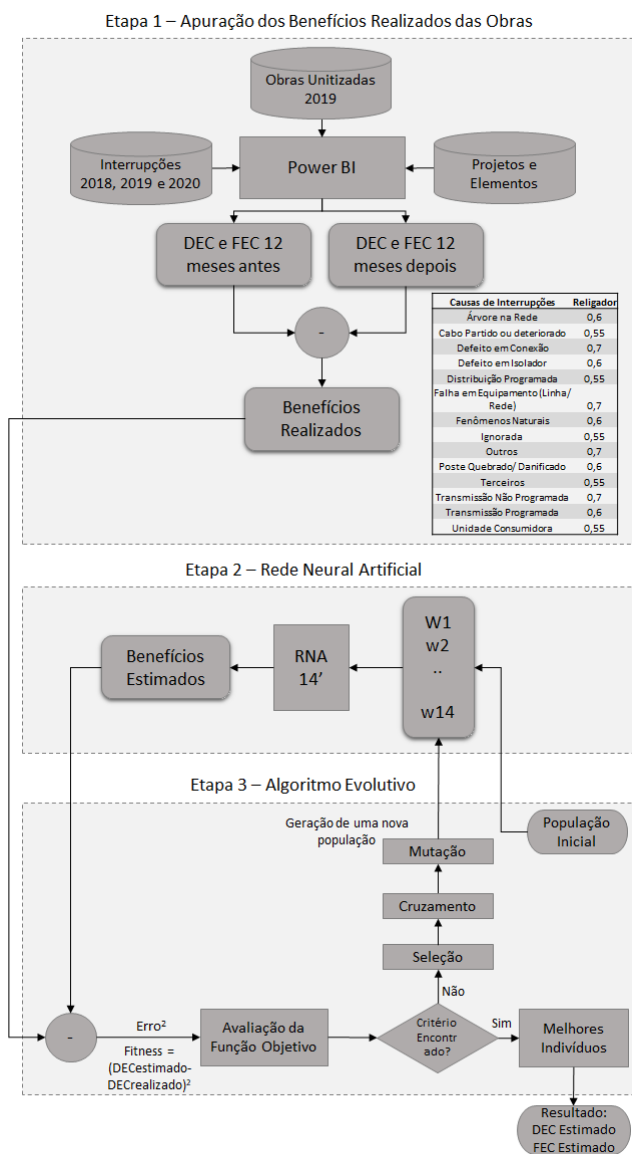


Fig. 1 Metodologia proposta

A Etapa 1 diz respeito à apuração do benefício em DEC e FEC realizado das obras. Com a base do realizado de interrupções, a base com a relação de estudos de alternativas e elementos interrompidos, e a base obras executas, determinou-se o ganho real das obras em DEC e FEC de acordo com as causas de interrupções.

Na Etapa 2 foi avaliado um modelo de RNA para estimativa dos benefícios associados às obras de acordo com as causas de interrupções. Foram analisados os dados referentes, apenas às obras de recondução, e devido a quantidade pequena de obras desse tipo (6 obras) foram gerados 1000 cenários aleatórios de fatores multiplicativos por causa e multiplicados pelos valores de interrupção das regiões associadas às obras de recondução em estudo para diversificar a base de treinamento do modelo de RNA.

A Etapa 3 apresenta o método para minimização do erro entre os valores realizados e estimados com o objetivo de fechar a malha e apresentar os resultados finais dos valores estimados em DEC e FEC e os fatores multiplicativos a serem utilizados

em novas proposições de obra para obtenção dos valores estimados. Foram utilizadas técnicas de Algoritmos Evolutivos devido a complexidade e não linearidade do problema.

2.4 Benefícios Realizados das Obras

A distribuidora não acompanha, após a realização da obra, qual o benefício para os indicadores da qualidade do serviço entregue. Portanto, a primeira análise feita com as bases disponíveis foi um levantamento para determinação do real benefício entregue pelas obras realizadas nos últimos anos. Para isso utilizou-se outras duas bases para auxílio desse cálculo: a base de planejamento elétrico, com informações de região de abrangências dos projetos propostos conforme planejamento elétrico do ano de 2018; e a base com as informações de execução e conclusão das obras propostas para o ano de 2019 (ano de execução das obras propostas em 2018).

Com o objetivo de diminuir a incerteza das bases e variações de cenários de circuitos e consumidores ao longo do tempo, utilizou-se em todo o estudo e metodologia proposta a base dos 12 meses antes de entrada das obras para avaliação dos valores estimados, visto que a base original de estimação de ganhos, de 2017, utilizada no planejamento inicial da obra pode não refletir o cenário mais atual da região de atuação das obras avaliadas.

2.5 Aplicação das Redes Neurais Artificiais

As variáveis utilizadas foram os valores realizados de DEC e FEC por causas de interrupções para os 12 meses antes de entrada da obra em estudo, recondução. Foram avaliadas as entradas e identificadas quais causas de interrupções são relevantes para determinação das saídas de DEC e FEC. O algoritmo para previsão dos benefícios foi desenvolvido através de redes neurais artificiais.

A topologia da rede neural artificial usada nos dois modelos preditivos foi a *Multi Layer Perceptron* (MLP), sendo Haykin, 2001 referência, com as seguintes configurações:

- Número de camadas ocultas: 2;
- Número de neurônios na primeira camada oculta: 10;
- Número de neurônios na segunda camada oculta: 5;
- Número máximo de épocas: 1000;
- Objetivo do erro de treinamento: $1e-6$;
- Taxa de aprendizagem: 0,01;
- Fator de normalização das saídas: 1000.
- Função de Ativação: Logsig.

Partindo do modelo de cálculo de benefícios nos indicadores de continuidade vigente pela distribuidora, em que são

associados fatores multiplicativos ao realizado de DEC e FEC, criou-se 1000 cenários, em que para cada cenário, são definidos 14 fatores multiplicativos, cada um associado à uma causa de interrupção, para o mesmo tipo de obra, recondução. A quantidade de cenários foi escolhida de forma a representar diversas possibilidades fatores multiplicativos para o DEC e FEC. O modelo dispõe de 14 entradas, de acordo com as causas, e DEC e FEC como saídas em que os valores já contemplam as parcelas de contribuição de cada causa. Com a base composta por 1000 cenários, reservou-se 700 cenários para criação e treinamento do modelo, enquanto os demais 300 cenários foram reservados para a validação.

2.6 Aplicação dos Algoritmos Evolutivos

Para o modelo de RNA apresentado anteriormente, foram simulados os resultados para minimização do erro quadrático médio entre os benefícios realizados e estimados na saída da RNA através de um algoritmo evolutivo para obtenção dos valores estimados ótimos para o DEC, FEC e fatores multiplicativos a serem utilizados em novos planejamentos de obras de recondução.

O algoritmo evolutivo foi desenvolvido com os seguintes parâmetros, tendo como referência Michalewics, 1996:

- Número de gerações DEC: 100
- Número de gerações FEC: 100
- Probabilidade de cruzamento: 0,9;
- Probabilidade de mutação: 0,25;
- Operador de mutação Gaussiano com desvio padrão = 0,01;
- Tamanho da população: 20;
- Seleção de pares: Método da roleta;
- Atualização da população: Elitismo;
- Função de avaliação DEC: $10 - (\text{DEC_Estimado} - \text{DEC_Realizado})^2$;
- Função de avaliação FEC: $10 - (\text{FEC_Estimado} - \text{FEC_Realizado})^2$;

Foram simuladas 100 versões do resultado do modelo, ou seja, foram realizadas 100 simulações para obter resultados médios, tendo em vista todo caráter aleatório dos resultados para cada vez que se utiliza o algoritmo genético.

Para cada versão simulada, foram determinadas as gerações médias de convergência dos resultados através da derivada da curva de DEC e FEC estimados.

3. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados para cada uma das 3 etapas conforme apresentadas na metodologia proposta na Figura 1

3.1 Apuração dos benefícios realizados das obras

As Tabela 2 e 3 apresentam os valores apurados de benefício de DEC e FEC 12 meses antes da entrada das obras e 12 meses após a execução das obras de recondução. Valores subdivididos de acordo com as causas de interrupções. Todas as ocorrências da base de interrupções foram contabilizadas para composição dos números apresentados e os valores de DEC e FEC são referentes à base total de consumidores da empresa.

Tabela 2. Benefícios Apurados de DEC

Causa	Realizado		
	Benefício DEC	% Redução DEC	Fator Mult. DEC
Árvore na Rede	-	0,00%	0,00000000
Cabo Partido ou deteriorado	-	0,00%	0,00000000
Defeito em Conexão	0,00530948	17,26%	0,82742650
Defeito em Isolador	0,00092903	0,00%	1,00000000
Distribuição Programada	0,00612260	3,19%	0,96809721
Falha em Equipamento (Linha / Rede)	0,00399034	48,08%	0,51922392
Fenômenos Naturais	-	0,00%	0,00000000
Ignorada	-	0,00%	0,00000000
Outros	0,00350058	87,00%	0,1299543
Poste Quebrado/Danificado	-	0,00%	1,00000000
Terceiros	-	0,00%	1,00000000
Transmissão Não Programada	0,00305312	1,39%	0,98614307
Transmissão Programada	0,00043629	0,00%	1,00000000
Unidade Consumidora	-	0,00%	0,00000000
Total	0,02334145	54,95%	0,45046558

Tabela 3. Benefícios Apurados de FEC

Causa	Realizado		
	Benefício FEC	% Redução FEC	Fator Mult. FEC
Árvore na Rede	-	0,00%	0,00000000
Cabo Partido ou deteriorado	-	0,00%	0,00000000
Defeito em Conexão	0,00314917	39,37%	0,60628786
Defeito em Isolador	0,00088014	0,00%	1,00000000
Distribuição Programada	0,00384275	11,25%	0,88754047
Falha em Equipamento (Linha / Rede)	0,00845704	20,13%	0,79865703
Fenômenos Naturais	-	0,00%	0,00000000
Ignorada	-	0,00%	0,00000000
Outros	0,03817736	51,73%	0,48272475
Poste Quebrado/Danificado	-	0,00%	0,00000000
Terceiros	-	0,00%	0,00000000
Transmissão Não Programada	0,00908576	8,63%	0,91371218
Transmissão Programada	0,00523552	0,00%	1,00000000
Unidade Consumidora	-	0,00%	0,00000000
Total	0,06882774	40,28%	0,59715410

O significado de cada resultado é mostrado a seguir:

- Benefício DEC = DEC Antes – DEC Depois;
- Fator Multiplicativo DEC = DEC Depois / DEC Antes;
- Redução DEC = 1 – Fator Multiplicativo DEC

Observa-se que após a entrada das obras de recondução, o DEC reduziu 0,02334145 horas e o FEC 0,06882774, que correspondem a uma redução percentual de 54,95% e 40,28%, respectivamente

Na metodologia atual o percentual de redução é constante para o DEC e FEC, 70%. Em comparação com os valores realizados, o erro de estimação pelo método atual foi de 33% para o DEC e 50% para o FEC, considerando apenas os valores totais.

3.2 Redes Neurais Artificiais

Na Figura 2 apresentam-se os valores para a saída de DEC, resultado da validação da RNA, comparando os valores previstos com os valores reais. O MAPE (*Mean Absolute Percentage of Error*) foi de 0,0081% e o EARM (Erro Absoluto Relativo Máximo) foi de 0,1919%.

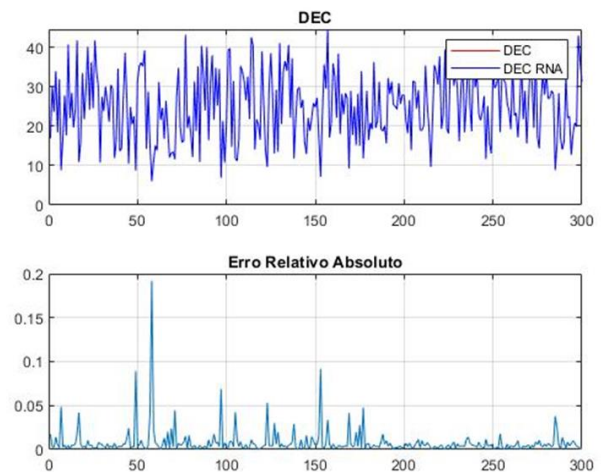


Fig. 2 RNA DEC.

Para o FEC, os resultados podem ser observados na figura 3. O MAPE foi de 0,0074% O EARM foi 0,1611%.

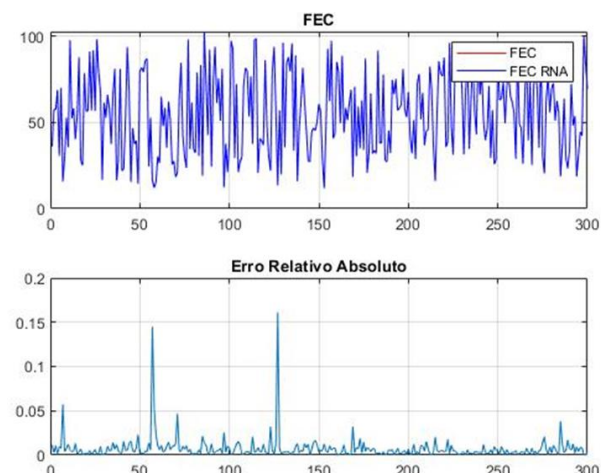


Fig. 3 RNA FEC.

O mapa de calor da Tabela 4, construído a partir da análise do coeficiente de correlação entre as entradas (Causas) e as saídas (DEC e FEC), apresenta que para o resultado do DEC, as entradas Defeito em Conexão, Distribuição programada, Falha em Equipamento e Outros representam um maior índice do coeficiente de correlação, sendo as mesmas entradas com correlação alta para o FEC. Uma análise observada é que a entrada 9 (causa Outros) apresentava valores realizados para os últimos 12 meses, e apresenta forte correlação para determinação do DEC e FEC, explicado pela grande quantidade de ocorrências associadas a essa causa, prática que precisa ser evitada.

Tabela 4. Mapa de Calor DEC e FEC

Entrada / Causa	DEC	FEC
Árvore na Rede	0,03223	0,02686
Cabo Partido ou deteriorado	0,01732	0,02851
Defeito em Conexão	0,19927	0,04838
Defeito em Isolador	0,00881	0,02379
Distribuição Programada	0,21831	0,05569
Falha em Equipamento (Linha / Rede)	0,25136	0,12741
Fenômenos Naturais	0,00243	0,00352
Ignorada	0,02588	0,03728
Outros	0,91255	0,97961
Poste Quebrado/Danificado	0,02449	0,02045
Terceiros	0,00897	0,00341
Transmissão Não Programada	0,10790	0,11694
Transmissão Programada	0,01119	0,06209
Unidade Consumidora	0,01221	0,01541

3.3 Algoritmos Evolutivos

A Tabela 5 apresenta os resultados consolidados após as 100 simulações utilizando os algoritmos evolutivos para estimativa dos benefícios de DEC e FEC para as obras de recondutoramento. Os resultados para o MAPE e o EARM foram satisfatórios, e os erros mínimos ficaram bem abaixo dos erros identificados com a utilização do método atual de cálculo de benefício de DEC e FEC (33% para o DEC e 50% para o FEC).

Tabela 5. Resultado da Metodologia Proposta DEC

Algoritmo Genético	DEC	FEC
MAPE	0,0256%	0,0089%
EARM	0,3211%	0,1704%
Erro Mínimo	0,0023%	0,0008%
Valor Estimado	0,023341999	0,068827217

Como resultados da metodologia, foram identificados os fatores multiplicativos associados a cada causa de interrupção, que multiplicados aos valores realizados de DEC e FEC antes da entrada da obra resultará nos valores estimados de benefício de DEC e FEC.

Ao final das simulações, além dos resultados estimados de DEC e FEC, também foram extraídos os valores dos fatores

multiplicativos por causas, que se trata do melhor indivíduo da última população ao final de cada simulação. Para a versão de simulação que gerou o menor erro, foram selecionados os fatores multiplicativos associados ao DEC e ao FEC.

Para os resultados apresentados nas Tabelas 6 e 7, foram aplicados os fatores multiplicativos encontrados aos valores realizados de DEC e FEC na região de entrada das obras, com isso obtendo-se os valores estimados de benefícios de DEC e FEC e comparados com o benefício real para determinação dos erros.

Tabela 6. Resultado da Metodologia Proposta DEC

Causa	Metodologia Proposta		
	Fator Mult. DEC	Benefício DEC Estimado	Erro DEC
Árvore na Rede	0,73471102	0,00000000	
Cabo Partido ou deteriorado	0,28495696	0,00000000	
Defeito em Conexão	0,82046193	0,00526479	1%
Defeito em Isolador	0,51655342	0,00047989	48%
Distribuição Programada	0,30153195	0,00190700	69%
Falha em Equipamento (Linha / Rede)	0,24755576	0,00190252	52%
Fenômenos Naturais	0,73932466	0,00000000	
Ignorada	0,24877315	0,00000000	
Outros	0,45103282	0,01214564	-247%
Poste Quebrado/Danificado	0,04734617	0,00000000	
Terceiros	0,21047095	0,00000000	
Transmissão Não Programada	0,40924098	0,00126702	59%
Transmissão Programada	0,86046924	0,00037542	14%
Unidade Consumidora	0,45407953	0,00000000	
Total	0,45189347	0,02341544	0,3170%

Tabela 7. Resultado da Metodologia Proposta FEC

Causa	Metodologia Proposta		
	Fator Mult. FEC	Benefício FEC Estimado	Erro FEC
Árvore na Rede	0,32074547	0,00000000	
Cabo Partido ou deteriorado	0,40934843	0,00000000	
Defeito em Conexão	0,77682127	0,00403496	-28%
Defeito em Isolador	0,77114738	0,00067872	23%
Distribuição Programada	0,64239422	0,00278135	28%
Falha em Equipamento (Linha / Rede)	0,73930069	0,00782851	7%
Fenômenos Naturais	0,44758759	0,00000000	
Ignorada	0,56579844	0,00000000	
Outros	0,52214028	0,04129463	-8%
Poste Quebrado/Danificado	0,55299141	0,00000000	
Terceiros	0,70407827	0,00000000	
Transmissão Não Programada	0,88477114	0,00879798	3%
Transmissão Programada	0,65169216	0,00341194	35%
Unidade Consumidora	0,34059480	0,00000000	
Total	0,59495797	0,06857462	0,3678%

Nas colunas Erro DEC e Erro FEC são comparados os resultados obtidos por essa multiplicação com os valores reais obtidos após a entrada das obras, simulando o erro da utilização do método na distribuidora. Para o DEC o erro absoluto relativo obtido foi de 0,3170% e para o FEC de 0,3678%, valores em comparação com os valores realizados totais. O erro obtido pelo método atual foi de 33% para o DEC e 50% para o FEC. Portanto, os resultados obtidos pela

metodologia proposta nesse trabalho para a estimativa de redução de DEC e FEC das obras de recondutoramento foram, em média, 100 vezes mais precisos, quando comparado com a metodologia atual.

4. CONCLUSÕES

Nesse trabalho, foram estudados temas relacionados ao planejamento elétrico da rede de distribuição de energia, indicadores da qualidade do serviço e o desafio da previsão dos benefícios que as obras de investimento contribuem para a melhoria dos indicadores de continuidade.

A primeira contribuição a ser destacada desse trabalho é a organização e estruturação das bases de dados da distribuidora, de modo que seja possível estimar o ganho real que as obras de investimentos contribuíram para redução dos indicadores de continuidade DEC e FEC. Visto o longo tempo de observação para estimação do ganho realizado das obras, os resultados estão sujeitos à muitas perturbações, como variações de cargas nos circuitos em análise, intempéries climáticas, etc.

A estruturação da metodologia de cálculo dos benefícios baseados nas causas de interrupções do fornecimento é uma contribuição relevante, visto que a distribuidora em estudo não analisa a influência das causas de acordo com o tipo da obra que se está estudando. Conforme resultados preliminares dos modelos desenvolvidos, para cada tipo de obra, diferentes causas contribuem para os resultados previstos em DEC e FEC.

Como contribuições complementares, pode-se destacar o estudo de técnicas de inteligência artificial, como as redes neurais inteligentes e algoritmos genéticos para auxílio do planejamento da rede e apoio à tomada de decisão, por se tratar de métodos que levam em considerações diversas variáveis de entradas, e como essas entradas se relacionam para determinação das saídas desejadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. S.; COLARES, A. C. V.; LAMOUNIER, W. M.; MÁRIO, P. C. Qualidade do serviço, satisfação do consumidor e desempenho financeiro das empresas distribuidoras de energia elétrica brasileiras. In: XVII Congresso Brasileiro de Custos, Belo Horizonte, 2010.
- ANEEL. Qualidade do Serviço. 2021. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/qualidade-do-servico2>> Acesso em: junho de 2021.
- ANEEL – Indicadores Coletivos de Continuidade. 2022. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>> Acesso em janeiro de 2022.
- FERREIRA, V. H.; OLIVEIRA, L. B. PINHO, A. C.; et al. Análise do Impacto das Ações de Manutenção nos Indicadores de Continuidade em Redes de Distribuição utilizando Machine Learning e Regressão com Dados em Painel. Rio de Janeiro. 2021.
- JUNIOR, J. A. A. Modelo para Predição de Indicadores de Continuidade em um Sistema de Distribuição de Energia Elétrica, uma Aplicação à Gestão de Manutenção com a Perspectiva do uso da Termografia. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2017.
- MAGALHÃES, E. F. A. Ferramenta Auxiliar para a Manutenção em Redes de Distribuição de Energia Elétrica. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica. Salvador, 2017.
- MICHALEWIKS, Z. Genetic Algorithms +Data Structures = Evolution Programs. 1996. 3ed.
- HAYKIN, S. Redes Neurais: Princípios e prática. 2001. Porto Alegre RS: Bookman.