

Uma Metodologia Baseada em Algoritmo Genético para Priorização de Ações de Manutenção de Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica

Danilo de Souza Pereira*, Fillipe Matos de Vasconcelos*, Carlos Frederico Meschini Almeida*, Nelson Kagan*, James Júnior**, Fabrício Viana**, Alexandre Dominice**, José Dorlando Júnior***

*Universidade de São Paulo, São Paulo – SP

(Tel: 11 3091-9932; e-mail: danilopereira@usp.br, fillipe@usp.br, cfmalmeida@usp.br, nelsonk@pea.usp.br).

**EDP São Paulo Distribuição de Energia S.A., São Paulo – SP

(Tel: 11 2178-7382; e-mail: fabricio.viana@edpbr.com.br, james.junior@edpbr.com.br, alexandre.dominice@edpbr.com.br).

***EDP Espírito Santo Distribuição de Energia S.A., Vitória – ES

(Tel: 27 3348-4049; e-mail: jose.dorlando@edpbr.com.br).

Abstract: Yearly, power distribution utilities plan preventive maintenance actions, aiming at reducing durations and frequencies of power outages. Currently, utilities planning professionals prioritize maintenance actions based on indicators organized in electronic spreadsheets and field information. Typically, these actions are classified according to their expected benefits. Then, a set of actions is selected according to their costs and available budgets. This paper proposes a Genetic Algorithm (GA)-based methodology to provide an optimal plan of maintenance actions based on a sensible resource allocation. Four major types of actions are addressed, regarding the targeted assets: general Medium Voltage (MV) equipment, general Low Voltage (LV) equipment, MV/LV transformers and poles. To apply the proposed methodology, a case study was set up considering a Brazilian power distribution service area. By executing the methodology for each of the four major types of actions, a plan of optimal maintenance actions was produced, considering the corresponding budget availability. The methodology succeeded in providing an optimal plan of suitable actions for a real power distribution substation.

Resumo: Anualmente, as concessionárias de distribuição de energia elétrica planejam ações de manutenção preventiva com o objetivo de reduzir durações e frequências de falta de energia. Atualmente, os profissionais de planejamento de serviços públicos priorizam ações de manutenção com base em indicadores organizados em planilhas eletrônicas e informações de campo. Normalmente, as ações são classificadas de acordo com os benefícios esperados. Em seguida, um conjunto de ações é selecionado, condicionado aos custos e orçamentos disponíveis. Este artigo propõe uma metodologia baseada em algoritmo genético (AG) para fornecer um plano otimizado de ações de manutenção baseadas no critério da aplicação criteriosa de recursos. São abordados quatro tipos principais de ações em relação aos ativos visados, que são: equipamentos gerais de média tensão (MT), equipamentos gerais de baixa tensão (BT), transformadores e postes de MT / BT. Para aplicar a metodologia proposta, foi elaborado um estudo de caso considerando uma área de uma concessionária de distribuição de energia brasileira. Ao executar a metodologia, para cada um dos quatro principais tipos de projetos, um plano de ações de manutenção otimizado foi produzido, considerando a dotação orçamentária disponível. A metodologia conseguiu fornecer um plano ideal de ações que são aplicadas para uma subestação de distribuição de energia real.

Keywords: genetic algorithm, power distribution planning, maintenance, asset management, power quality.

Palavras-chaves: algoritmo genético, planejamento de redes de distribuição, manutenção, gestão de ativos, qualidade da energia.

1. INTRODUÇÃO

Anualmente, os profissionais das concessionárias de energia elétrica planejam ações de manutenção preventiva envolvendo toda a área de concessão. Estas ações são voltadas à substituição de ativos depreciados, deteriorados ou, ainda, obsoletos e ao planejamento de intervenção na vegetação, com o objetivo de proporcionar a melhoria da qualidade do fornecimento e maior flexibilidade operativa ao sistema de distribuição. A condução das ações de manutenção mencionadas é crucial para diminuir as taxas de falhas e reduzir o tempo de atendimento emergencial e o

número de clientes afetados por quedas de energia (H. Zhao et al, 2016). Consequentemente, a empresa distribuidora de energia melhora seus índices de continuidade DEC e FEC (ANEEL, 2018) e, com isso, evita o pagamento de multas e compensações em decorrência de interrupções do fornecimento (G. A. B. Conde et al, 2013). Além disso, as reclamações dos clientes são reduzidas e as compensações e multas regulatórias são mitigadas. Dessa forma, os profissionais de planejamento buscam determinar o conjunto mais eficiente de ações de manutenção, respeitando a disponibilidade dos orçamentos CAPEX (despesas de capital) e OPEX (despesas operacionais).

Este artigo se concentra, principalmente, em ordens de ações de manutenção relacionadas às redes de distribuição da EDP, uma concessionária de energia elétrica que apoia este trabalho. Atualmente, na EDP, o conjunto de ordens de ações é determinado com base em informações referentes a registros de interrupção de energia, medições de equipamentos de campo e apontamentos de inspetores de redes, compiladas em planilhas eletrônicas. Isso pode ser considerado um processo complexo e frágil para tomada de decisão, pois demanda tempo de análise, não é auxiliado por nenhum esquema de procedimento automático e depende de experiência pessoal, o que pode levar a conclusões subjetivas. Além disso, normalmente, as ações são simplesmente classificadas em termos de seus benefícios esperados e selecionadas de acordo com os custos envolvidos e recursos disponíveis. Com essa metodologia de trabalho, a seleção de ações propostas não garante a execução de um planejamento ideal.

Na literatura correlata, diversos trabalhos contribuem para o tema, porém referindo-se às ações de manutenção separadamente. O trabalho de W. H. Bernardelli (2017) propõe a substituição de redes convencionais por cabos compactos, porém não considera explicitamente as restrições de orçamento. Em (P. Hilber et al, 2005), os autores propõem uma metodologia para avaliar a substituição de cabos de média tensão, porém apenas ordena as ações necessárias de forma decrescente quanto à sua relevância. O trabalho (S. D. Guikema et al, 2006) propõe obras de poda de vegetação como alternativas de boa relação benefício-custo, comparadas com as alternativas convencionais.

Este trabalho propõe uma metodologia baseada em algoritmo genético (AG) com o objetivo de melhorar o processo geral de priorização das ações de manutenção. São abordados quatro tipos principais de ações: ações em equipamentos gerais de MT, ações em equipamentos gerais de BT, ações em postes e ações em transformadores MT/BT. Devido às informações disponíveis, são necessárias formulações específicas para cada um dos tipos de ações.

A metodologia foi implementada como um módulo de *software* dentro do ambiente de planejamento da concessionária de energia EDP, em que estão disponíveis dados topológicos, registros de falta de energia e medidas de equipamentos de campo. Com essa metodologia, o trabalho dos profissionais de planejamento é otimizado, consistindo em garantir a disponibilidade dos dados de entrada, iniciar o processo de priorização e, finalmente, consolidar e validar o conjunto de ordens de ações a serem efetivamente executadas.

Em um estudo de caso, a metodologia foi aplicada a algumas redes de distribuição de energia localizadas na área de concessão da empresa EDP, atendendo cerca de 1,9 milhão de clientes. Ao final, a metodologia forneceu um conjunto viável de ações de manutenção associadas aos

recursos disponíveis e a metodologia foi considerada bem-sucedida.

2. METODOLOGIA

A metodologia proposta compreende três etapas principais: recepção de dados de entrada, avaliação de todas as ações de manutenção consideradas e processo de priorização para determinar o conjunto ideal de ações.

2.1 Dados de entrada

Topologia

As simulações de rede de energia conduzidas são suportadas por um Sistema de Informação Geográfica (GIS), que contém comprimentos de seções de linha, demandas de clientes, conectividade de linhas, dentre outros atributos.

Registros de falta de energia

As falhas de energia que afetam as redes de energia monitoradas são registradas no OMS (*Outage Management System*). Esses registros suportam a avaliação das taxas de falha do equipamento e os tempos de serviço da concessionária, fornecendo dados estatísticos para simulações referentes a índices de continuidade.

Registros de equipamentos de campo

Com base nos registros de dispositivos automatizados por meio do Controle de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), o equipamento sobrecarregado é detectado.

Gerador automático de ordens de ações

Como as ações de manutenção para equipamento de MT são sugeridas por meio de inspeções visuais de campo, é necessário um módulo complementar baseado em *software* para produzir as ordens complementares. Dessa forma, o Gerador Automático de Ordens de Ações (GAOA) é desenvolvido para permitir a produção de ordens de substituição de transformadores de MT / BT e ordens de ações gerais de equipamentos de BT.

Ordens de ações de manutenção

Anualmente, os ativos das concessionárias de energia são inspecionados pelas equipes de manutenção, ocasião em que percebem potenciais problemas e preveem agravamentos futuros. Em seguida, são sugeridas ações de manutenção, que são registradas no sistema utilitário *Enterprise Resource Planning* (ERP). Devido à grande quantidade de apontamentos e ao rigor na observação dos orçamentos disponíveis, uma priorização se faz necessária para aplicação criteriosa dos recursos.

2.2 Avaliando ordens de ações de manutenção

As ordens de ações de manutenção são avaliadas em termos de um Índice de Mérito (IM), que relaciona numericamente os benefícios fornecidos com o custo associado. As subseções a seguir apresentam mais detalhes sobre a avaliação do IM para cada um dos quatro tipos de ordens de ações.

Equipamento geral de MT

Para ações em equipamentos gerais de MT, os benefícios são representados por reduções nos índices de continuidade - DEC (Índice de Duração Média de Interrupção do Sistema), FEC (Índice de Frequência Média de Interrupção do Sistema) e END (Energia Não Distribuída). Para calcular tais reduções, um Módulo de Cálculo de Índices de Continuidade (MCIC) é desenvolvido. Com base nas ocorrências de interrupções registradas no OMS da concessionária, o MCIC estima os parâmetros estatísticos: taxas de falha (TF) e tempos de serviço (TS). Cada ação em um determinado equipamento geral de MT fornece reduções em TF e TS.

Para avaliar os benefícios de uma ação de manutenção específica, os índices de continuidade são recalculados pelo MCIC, conforme ilustrado na Figura 1, onde DEC, FEC e END são os índices iniciais e DEC', FEC' e END' são os computados após a ação de manutenção ser realizada.

IM é calculado através da Equação (1), em que ΔDEC^{pu} , ΔFEC^{pu} e ΔEND^{pu} são as reduções em DEC, FEC e END, respectivamente, em p.u. com relação às suas respectivas máximas reduções possíveis. O $Custo_{ger.MT}$ representa o valor financeiro da ordem de ação avaliada.

$$IM_{ger.MT} = \frac{\Delta DEC^{pu} + \Delta FEC^{pu} + \Delta END^{pu}}{Custo_{ger.MT}} \quad (1)$$

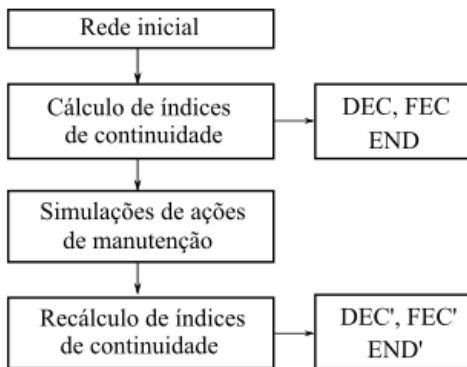


Figura 1 - Recalculando índices de continuidade de fornecimento

Equipamento geral de BT

Considerando que as inspeções de campo não geram ordens de ação de manutenção em equipamentos BT gerais, elas são produzidas pelo GAOA. Esse módulo seleciona redes BT deficientes que atendem às seguintes condições: (1) os arranjos de cabos não são totalmente compactos; (2) a rede BT tem pelo menos um registro de falta de energia pertencente ao grupo de causas associadas: ventos, corrosão, vegetação, árvores derrubadas, galhos de árvores, pipas e objetos na rede;

Para uma rede BT selecionada, três ordens de ação de manutenção possíveis são produzidas: instalação de rede compacta, instalação de espaçadores de fases e poda de árvores. Durante a etapa de priorização, uma dessas três alternativas será escolhida de maneira ideal.

Os benefícios dos três tipos de ordens de ações de manutenção são quantificados indiretamente como o número de ocorrências de interrupções que podem ser mitigadas. Uma lista de causas de interrupções evitadas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Ações e causas evitadas de interrupções	
Ação	Causas de interrupções evitadas
Cabo compacto	Vegetação, galho de árvore, ventos, pipa, corrosão, objeto na rede
Espaçador	Vegetação, galho de árvore, ventos
Poda de árvore	Vegetação, árvore tragada, galho de árvore

O IM para cada um dos três tipos de ações de manutenção é calculado segundo as Equações (2), (3) e (4). Nessas equações, $NO_{multiplex}^{pu}$, $NO_{espaçador}^{pu}$ e NO_{poda}^{pu} são os números de ocorrências de interrupções (em p.u. de seus respectivos valores máximos) que podem ser resolvidas por meio de cabos multiplex, espaçador e poda, respectivamente. $Custo_{multiplex}$, $Custo_{espaçador}$ e $Custo_{poda}$ são os custos correspondentes.

$$IM_{ger.BT}^{multiplex} = \frac{NO_{multiplex}^{pu}}{Custo_{multiplex}} \quad (2)$$

$$IM_{ger.BT}^{espaçador} = \frac{NO_{espaçador}^{pu}}{Custo_{espaçador}} \quad (3)$$

$$IM_{ger.BT}^{poda} = \frac{NO_{poda}^{pu}}{Custo_{poda}} \quad (4)$$

Transformador MT/BT

Para ações de manutenção em transformadores MT / BT, o IM é calculado de acordo com a Equação (5), onde SC^{pu} é a sobrecarga, em p.u. da potência nominal do transformador, NC^{pu} é o número de clientes (em p.u. do número total de clientes da empresa) e NO^{pu} é o número de ocorrências de interrupções. Os coeficientes de multiplicação correspondentes - k_{SC} , k_{NC} e k_{NO} , respectivamente - são inicialmente unitários, mas podem ser calibrados com base na utilização da ferramenta. O $Custo_{trafo}$ consiste no valor financeiro da ordem de ação de manutenção do transformador.

$$IM_{trafo} = \frac{k_{SC}SC^{pu} + k_{NC}NC^{pu} + k_{NO}NO^{pu}}{Custo_{trafo}} \quad (5)$$

Postes

Ações de substituição de postes visam à redução da probabilidade de interrupção do fornecimento de energia. Algumas etapas permitem avaliar essas ações. Primeiramente, coletam-se as ordens de substituição dos postes adjacentes, produzindo as Ordens de Ação de Manutenção Agrupadas. Todos os procedimentos subsequentes consideram o conceito de ordens compostas. Em seguida, cada ordem agrupada é avaliada considerando as seguintes quantidades para quantificação de benefícios:

(1) número de clientes à jusante dos postes em questão; (2) número de interrupções de fornecimento associadas a clientes à jusante dos postes em questão.

Por fim, os IMs para ordens de ações de manutenção agrupadas são calculados com base na quantificação de benefícios e no custo correspondente, de acordo com a Equação (6). Nessa equação, NC^{pu} é o número de clientes (em p.u. do número total de clientes da empresa) a jusante dos postes em questão e NO^{pu} é o número (em p.u. do número total) de ocorrências relativas aos clientes à jusante dos postes em questão, com k_{NC} e k_{NO} os respectivos coeficientes de ponderação. Eles são inicialmente unitários, mas podem ser calibrados com base na utilização da ferramenta. O $Custo_{postes}$ se refere ao valor financeiro da ordem de ação de substituição dos postes.

$$IM_{postes} = \frac{k_{NC}NC^{pu} + k_{NO}NO^{pu}}{Custo_{postes}} \quad (6)$$

2.3 Priorizando ordens de ações de manutenção

Este trabalho propõe uma metodologia para determinar o conjunto ideal de ordens de ação de manutenção que traga os mais altos benefícios, considerando as restrições de orçamento.

Codificação do problema

Considerando uma abordagem de Algoritmo Genético (AG), um indivíduo - considerado uma solução específica - consiste em um cromossomo, no qual cada gene significa uma ordem de ação que pode ser realizada. O número inteiro 0 representa nenhuma ordem de ação. No exemplo a seguir, o cromossomo de um indivíduo (Indiv) indica que as ordens 5, 10, 12, 21, 23 e 30 são selecionadas de todas as N ordens de ações necessárias.

$$\begin{aligned} \text{Todas as ordens possíveis} &= \{1, 2, 3, \dots, N\} \\ \text{Indiv} &= (5, 10, 12, 21, 23, 30) \end{aligned}$$

O comprimento do cromossomo é estimado como o número de possíveis ordens de ações de manutenção que podem ser executadas, de acordo com a Equação (7).

$$\text{Comprimento do Crom.} = \left\lceil \frac{\text{Orçam. Total}}{\text{Custo médio}} \right\rceil \quad (7)$$

Nessa equação, o Orçam. Total é a soma das partes de CAPEX e OPEX destinadas aos tipos de ordens de ação de manutenção referidos. O termo Custo médio é o custo médio das ordens de ação avaliadas.

Função objetivo e restrições

A nota de um dado indivíduo é calculada segundo a Equação (8), que é igual à função objetivo f_{Obj} a ser maximizada para obtenção da solução.

$$f_{Obj} = k_{pen} \cdot (IM_1 + \dots + IM_i + \dots + IM_m) \quad (8)$$

Nessa equação, m é o número de ordens de ação diferentes de zero no cromossomo do indivíduo e IM_i é o IM da ordem de ação representada pela i -ésima posição nessa sequência.

Em relação às restrições, o coeficiente de ponderação k_{pen} representa uma penalização que é igual a zero quando houver violação de restrições. Conforme sintetizado pela Equação (9), o indivíduo avaliado é levemente penalizado se o custo total das ordens de ação for inferior ao orçamento disponível. No entanto, é severamente penalizado se o custo total das ações exceder o orçamento disponível.

$$k_{pen} = \begin{cases} \sim 0, & \text{Custo Total} > \text{Orçamento} \\ \frac{\text{Custo Total}}{\text{Orçamento}}, & \text{Custo Total} < \text{Orçamento} \end{cases} \quad (9)$$

Solução do problema

A solução do problema é obtida a partir do indivíduo mais bem avaliado da última geração do AG. Seus genes correspondem, um a um, às ordens de ações de manutenção que devem ser efetivamente executadas.

3. TESTES E RESULTADOS

A metodologia proposta foi aplicada a redes de distribuição de energia pertencente à área de concessão da EDP, representada na Figura 2. Elas são compostas por sete alimentadores primários e a área relacionada abrange cerca de 33.404 clientes. O sistema OMS da concessionária indica 16.564 interrupções de energia relacionadas à área investigada, registradas de janeiro de 2015 a dezembro de 2018. Inspeções na referida área indicam ações de manutenção necessárias, relativas a postes (Tabela 2), transformadores (Tabela 3) e equipamentos gerais de MT (Tabela 4). Para produzir de maneira ideal os conjuntos de ordens de ações de manutenção, utiliza-se a metodologia desenvolvida, considerando os seguintes parâmetros para o AG: 5.000 gerações, 200 indivíduos, probabilidades de cruzamento e de mutação iguais a 90% e 2%, respectivamente.

Nas tabelas, as ordens são classificadas de forma decrescente em termos de IM, sendo que as ordens destacadas em azul são as priorizadas. As partes correspondentes dos orçamentos de CAPEX e OPEX são as seguintes: R\$100.000,00 para ações em postes, R\$700.000,00 para ações em transformadores de MT / BT e R\$425.000,00 para ações em equipamentos gerais de MT. Com base nos resultados obtidos, alguns comentários podem ser apresentados.

Primeiramente, pode-se notar que as ordens de ações com classificação mais alta, em termos de IM, são todas escolhidas. De fato, eles oferecem maiores benefícios com

o menor custo. Depois, ao selecionar ordens de ação com classificação intermediária, a metodologia consegue uma utilização eficiente do orçamento total. Na priorização das ações em postes, aloca R\$ 98.720,00 de R\$ 100.000,00 (98,72%). Para transformadores MT / BT, são consumidos R\$ 684.000,00 de R\$ 700.000,00 (97,71%). Ao priorizar ações em equipamentos gerais de MT, R\$ 424.844,00 são alocados de R\$ 425.000,00 (99,96%). Os índices são fundamentados tendo em vista a redução dos índices de continuidade DEC, FEC e END.

Por fim, ressalta-se importante contribuição da metodologia desenvolvida ao permitir a comparação entre ações de manutenção envolvendo equipamentos de MT de diversos tipos. A adoção de AG representa um avanço em relação à simples ordenação decrescente em termos de índice de mérito das ações candidatas. Com o AG, é possível avaliar a viabilidade de diferentes combinações de ações com índices de mérito intermediários e mais baixos. Isso permite utilização otimizada dos recursos financeiros.

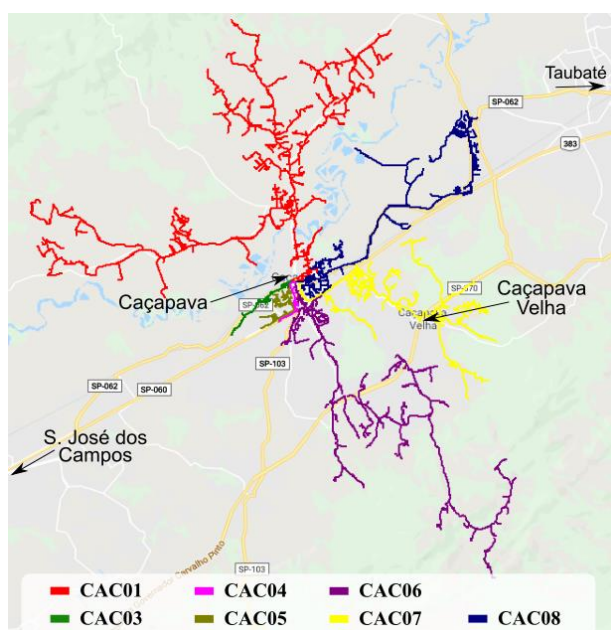


Figura 2 – Estudo de caso

Tabela 2 - Ordens de ação de manutenção em postes

No.	Circ.	Referência Localização	IM	Custo (R\$)	Priorização (R\$)
1	CAC01	FF015235	5968,82	3.560	3.560
2	CAC01	BF015287	2108,35	3.560	3.560
3	CAC01	BF015216	1201,20	3.560	3.560
...					
19	CAC06	BF015259	51,19	5.100	5.100
20	CAC07	BF015264	32,20	3.560	3.560
21	CAC01	BF504453	27,32	3.560	3.560
22	CAC01	BF015237	23,83	3.560	3.560
23	CAC06	BF510399	14,52	3.560	
24	CAC06	BF510399	14,52	3.560	
25	CAC06	BF015259	13,74	3.560	3.560
...					
31	CAC06	BF015255	3,29	3.560	
32	CAC06	BF015254	3,16	5.100	
33	CAC01	BF015222	0,32	3.560	
Custo Total (R\$)				132.300	98.720
Orçamento Total (R\$)				100.000	

Tabela 3 - Ordens de ação de manutenção em trafos MT / BT

No.	Circ.	Referência Localização	IM	Custo (R\$)	Priorização (R\$)
1	CAC06	ET30469	64,98	18.000	18.000
2	CAC02	ET505243	57,79	18.000	18.000
	CAC07	ET030802	56,91	18.000	18.000
	CAC02	ET517469	53,05	18.000	18.000
...					
35	CAC06	ET031670	25,98	18.000	18.000
36	CAC02	ET530799	25,67	18.000	18.000
37	CAC02	ET030141	24,87	18.000	18.000
38	CAC06	ET031667	24,43	18.000	18.000
39	CAC06	ET30458	23,61	18.000	
...					
78	CAC02	ET502572	3,84	18.000	
79	CAC02	ET4768	3,51	18.000	
Custo Total (R\$)				1.422.000	684.000
Orçamento Total (R\$)				700.000	

Tabela 4 - Ordens de ação de manutenção em equipamentos gerais de MT

No.	Circ.	Ação de Manutenção	Referência Local	Ext. (km)	IM	Custo (R\$)	Priorização (R\$)
1	CAC06	Cabo compacto	BF15138	0,09	1601,42	10.512	10.512
2	CAC07	Cabo compacto	BF15160	0,105	596,58	12.264	12.264
...							
8	CAC07	Cabo compacto	BF519802	0,055	194,48	6.424	6.424
9	CAC06	Cabo compacto	RL509625	0,14	157,29	16.352	16.352
10	CAC07	Cabo compacto	BF519803	0,165	83,09	19.272	
...							
14	CAC07	Cabo compacto	BF15266	0,93	38,35	108.624	108.624

15	CAC06	Cabo compacto	BF15298	0,685	35,18	80.008	80.008
16	CAC02	Religador	BF1471	1	16,29	50.500	50.500
17	CAC02	Poda de árvore	RL7038	1	9,41	30.954	
...							
25	CAC02	Religador	BF3719	1	3,07	50.500	
26	CAC06	Cabo compacto	BF15253	0,275	2,44	32.120	32.120
...							
33	CAC02	Poda de árvore	BF512536	1	0,02	4.397	
Custo Total(R\$)						763.059	424.844
Orçamento Total (R\$)						425.000	

4. CONCLUSÕES

Anualmente, profissionais de planejamento da distribuição de energia se deparam com o desafio de produzir um conjunto eficiente de ordens de ações de manutenção, tendo em vista certa disponibilidade orçamentária. Para enfrentar esse desafio, é proposta uma metodologia baseada em AG.

Um primeiro ponto destacado na metodologia desenvolvida é a utilização de dados oriundos de várias fontes para avaliar os benefícios das ações de manutenção. São consideradas informações como dados topológicos, leituras de dispositivos de campo e registros de falta de energia. Então, a metodologia proposta é ainda mais benéfica se os sistemas corporativos da concessionária estiverem totalmente disponíveis e integrados.

Foi fundamental o desenvolvimento do Módulo de Cálculo de Índices de Continuidade para avaliar as ordens de ações de manutenção em relação aos equipamentos gerais de MT. Ao calcular os benefícios das ações com base em suas respectivas reduções dos índices de continuidade, o módulo estabelece uma base comum para avaliar ações de manutenção distintas.

Ao adotar uma abordagem de algoritmo genético, foi possível avaliar a viabilidade de diferentes combinações de ações com índices de mérito intermediários e inferiores. Com isso, considera-se que a utilização de AG representa um avanço em relação à simples ordenação decrescente, em termos de índice de mérito, das ações candidatas, o que permite otimizar o uso dos recursos financeiros. A metodologia mostrou-se bem-sucedida na seleção de um conjunto eficiente de ordens de ações de manutenção, considerando os recursos financeiros disponíveis. Com base nos resultados, foi possível uma alocação eficiente do orçamento, com mais de 97% de utilização.

Investigando ainda mais os resultados, algumas ordens de ação com classificação intermediária são selecionadas para reunir o conjunto de ordens prioritizadas, provando que as ordens prioritizadas não são simplesmente aquelas com as notas mais altas.

5. AGRADECIMENTOS

A metodologia apresentada neste artigo é o produto de um projeto de P&D apoiado pela EDP Brasil, uma

concessionária de distribuição de energia. Os autores agradecem a essa empresa pelo apoio financeiro e por fornecer ao projeto as principais informações.

6. REFERÊNCIAS

H. Zhao, H. Liu, S. Chen, Y. Wang and H. Zhao, "Reliability assessment of distribution network considering preventive maintenance," 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, 2016, pp. 1-5.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8: Qualidade de Energia Elétrica". 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/modulo-8>. Acesso em: 16/09/2019.

EDP – Energias do Brasil S.A. "Solicitação e Registro de Manutenção em Rede de Distribuição MT/BT". Norma de Procedimento PR.DT.MNT.02.00.0000. 2017.

G. A. B. Conde, F. dos Santos, A. L. de Santana, R. D. Silva, C. R. L. Francês and M. E. L. Tostes. "New methodology for grouping electric power consuming units to meet continuity indicators targets established by the Brazilian Regulatory Agency." IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 7, no. 4, pp. 414-419, April 2013.

W. H. Bernardelli. "Aplicação da matriz de decisão na análise técnica e econômica para investimentos na modernização de redes de distribuição," (PhD Thesis, São Paulo State University, 2017). Available at: <<http://hdl.handle.net/11449/150015>>.

P. Hilber, B. Hällgren and L. Bertling. "Optimizing the replacement of overhead lines in rural distribution systems with respect to reliability and customer value." CIRED 2005.

S. D. Guikema, R. A. Davidson and H. Liu. "Statistical models of the effects of tree trimming on power system outages." IEEE Transactions on Power Delivery 21.3 (2006): 1549-1557.