

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

Fillipe Matos de Vasconcelos*, Carlos Frederico Meschini Almeida*, Nelson Kagan*, James D. S. Júnior**, Fabrício Expedito Viana**, Alexandre Dominice**, José Dorlando de Souza Júnior***

*Universidade de São Paulo, São Paulo – SP

(Tel: 11 3091-9932; e-mail: fillipe@usp.br, cfmalmeida@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: The increasing need of ensuring appropriate levels of reliability, profitability and consumer satisfaction drives utilities to develop strategies to identify aging assets through scheduled inspections. Nevertheless, considering the need of sensible resources allocation, an efficient strategy to allocate teams into the most critical segments of the distribution networks is desirable. Until recently, inspection scheduling was performed based on continuity indexes performances, gathered in electronic spreadsheets. This paper proposes a Genetic Algorithm (GA)-based approach to assess distribution networks' parameters, defines metazones (i.e., power network segments among protection devices) and prioritize those that further enhance power quality features. Results demonstrate that the prioritized metazones are feasible for real-life application in a comprehensive fashion.

Resumo: A crescente necessidade de garantir níveis adequados de confiabilidade, lucratividade e satisfação do consumidor leva as concessionárias a desenvolver estratégias para identificar ativos obsoletos por meio de inspeções programadas. No entanto, considerando a necessidade de aplicação criteriosa de recursos, é desejável a definição de uma estratégia eficiente para alocação de equipes nos segmentos mais críticos das redes de distribuição. Até recentemente, o planejamento da inspeção era realizado com base no desempenho dos indicadores de continuidade compilados em planilhas eletrônicas. Este artigo propõe uma abordagem baseada em Algoritmo Genético (AG) para avaliar os parâmetros das redes, definir metablocos (ou seja, segmentos de alimentador entre dispositivos de proteção) e priorizar aqueles que melhoram ainda mais os indicadores de qualidade de energia. Os resultados demonstram que o conceito de metablocos priorizados é viável para aplicação na realidade de uma maneira abrangente.

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

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

1. INTRODUÇÃO

A inspeção de ativos é uma prática comum no setor de distribuição de energia elétrica em todo o mundo. Ao identificar ativos e áreas com grande risco de causar falhas na rede, as concessionárias podem planejar ações de manutenção preventiva. Tais ações visam atingir altos níveis de confiabilidade do sistema e têm por objetivo não apenas a satisfação do cliente, mas também alta rentabilidade, atingindo as metas regulatórias dos índices de qualidade de energia e evitando pagamentos de reembolso dos clientes (Yumbe et al., 2017). No entanto, como as redes de distribuição podem atingir dezenas de milhares de quilômetros, torna-se inviável a inspeção integral de todo ativo, se considerado o critério de otimização dos recursos disponíveis para aumento da eficiência da distribuidora (EPRI, 2007).

Atualmente, os profissionais de planejamento geralmente selecionam porções da rede para inspeção com base no desempenho dos indicadores de continuidade compilados em

planilhas automatizadas. Tais processos podem ser imprecisos e demorados. E, sendo assim, muitos trabalhos abordaram estratégias de inspeção para uma ampla variedade de aplicações e contextos (Luque e Straub, 2019).

O presente trabalho propõe uma abordagem baseada em AG para avaliação de segmentos de alimentadores e priorização para inspeção. Em contraste com as abordagens existentes (Heo et al., 2011; Kuntz et al., 2001; Luque et al., 2019), em que os autores indiretamente assumem um orçamento ilimitado para atingir um dado nível de confiabilidade, a metodologia proposta nesta pesquisa considera um orçamento limitado e pré-determinado pela concessionária de energia a fim de alcançar a máxima confiabilidade possível. A metodologia proposta é inovadora ao combinar regras heurísticas (ou seja, experiência pessoal e *benchmarks*) a uma abordagem sistemática baseada em índices de mérito que, em resumo, consideram a densidade de carga, os resultados do fluxo de energia e as interrupções - doravante referidos neste trabalho como atributos físicos, operacionais e de contingência

- auxiliando os profissionais a identificar os segmentos de rede mais críticos e a produzir um planejamento de inspeção ideal para a área de serviço correspondente. Foi implementada uma ferramenta de planejamento adequada às necessidades de uma concessionária brasileira. Os resultados são mostrados em um estudo de caso que utiliza dados reais de oito alimentadores, permitindo avaliar quantitativamente zonas que causam maior impacto no caso de falhas.

2. METODOLOGIA

2.1 Dados de entrada

A avaliação utiliza dados de vários sistemas corporativos, como medições GIS (para topologia da grade), OMS (para registros de falta de energia) e SCADA no disjuntor principal de cada alimentador. Planilhas externas com cronograma de manutenção e histórico de inspeção também são usadas para pré-filtragem de áreas com inspeção obrigatória e áreas nas quais nenhuma inspeção deve ser realizada em um dado ciclo de inspeção.

2.2 Metablocos

Nesta pesquisa são definidos dois conceitos: blocos e metablocos. O método para segmentação dos alimentadores é realizado com a finalidade de dividir cada alimentador em metablocos, aqui definidas como o conjunto de segmentos de rede e equipamentos entre dispositivos de proteção a fim de gerenciar a priorização de inspeções em metablocos. Já os blocos, definidos como os segmentos de rede entre qualquer dispositivo de chaveamento, são importantes no processo de isolar faltas. Se blocos fossem usados no planejamento da inspeção, haveria muitas seções curtas a serem priorizadas e isso é indesejável do ponto de vista da gestão do planejamento da inspeção, especialmente por adicionar maior complexidade para esse planejamento à custa de um benefício indefinido. A Figura 1 apresenta uma ilustração onde existem quatro metablocos para o alimentador primário de uma rede de distribuição, sendo cada uma composta por um conjunto de blocos.

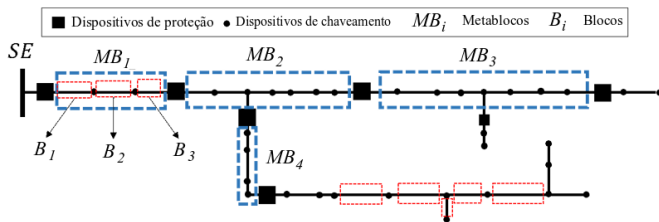


Figura 1 - Ilustração de metablocos e blocos

Um método prático usado pela concessionária de energia incluída neste estudo para avaliar a necessidade de inspeção em um metabloco é a etapa de pré-filtragem, que consiste em: **metablocos não priorizados**, representado pelo conjunto de metablocos em que a última inspeção foi datada antes de um período máximo definido pela distribuidora ou em que já existe nota de manutenção a ser executada; **metablocos a serem priorizados**, que, por outro lado, compreendem um intervalo intermediário e gerenciável; e, finalmente, **metablocos obrigatoriamente priorizados**, que incluem os metablocos cuja última inspeção ocorreu após o período

máximo praticado pela distribuidora. Os intervalos constam aqui de forma genérica pois estão condicionados às estratégias e procedimentos de cada distribuidora.

No processo de definição de quais metablocos serão escolhidos para o próximo ciclo de inspeção, os não priorizados devem ser excluídos da seleção. Os metablocos obrigatórios devem ser incluídos previamente para inspeção, devido à última inspeção ultrapassar o período máximo definido pela distribuidora. Já os metablocos a serem priorizados incluem aqueles que competem por uma posição no próximo ciclo de inspeção. Combinando os dados mencionados acima, cada metabloco a ser priorizado pode receber quantitativamente um conjunto de atributos, divididos em três grupos, a saber: físico, operacional e contingência.

2.3 Atributos Físicos

Atributos físicos estão relacionados à densidade de carga. Eles consideram o número e o consumo total de clientes e o comprimento total do alimentador primário em cada metabloco.

A função de avaliação dos atributos físicos (f^{fis}) de cada metabloco é dada por

$$f_i^{fis} = \frac{kWh_i^{total} \times Ncons_i^{1.5}}{L_i^{MV_{total}}} \quad (1)$$

onde kWh_i^{total} é o consumo total de energia; $Ncons_i$ é o número total de consumidores; e $L_i^{MV_{total}}$ é o comprimento total do alimentador primário (ou seja, rede MT). Esses atributos foram projetados a partir de figuras de mérito, como a energia do consumidor, representada pelo produto $kWh_i^{total} \times Ncons_i$, e a densidade linear da energia do consumidor, obtida pelo cálculo de $\frac{kWh_i^{total} \times Ncons_i}{L_i^{MV_{total}}}$. O fator 1,5 é intencionalmente usado para dar maior valor ao número de consumidores às custas do consumo total de energia.

2.4 Atributos Operacionais

Atributos operacionais estão relacionados à simulação de fluxo carga. As medições do SCADA no disjuntor principal de cada alimentador são filtradas e um perfil de demanda médio diário de 1 hora é calculado. O perfil é considerado ainda em um algoritmo de alocação de carga. Os atributos são calculados considerando o fluxo de energia na hora de pico de demanda do perfil resultante. Eles consideram o comprimento da rede principal de segmentos com violações de operação, como sobrecarga e tensões fora dos limites regulamentares. A função de avaliação dos atributos operacionais de cada metabloco (f_i^{op}) é dada por

$$f_i^{op} = K^V \times f_i^V + K^I \times f_i^I \quad (2)$$

onde K^V e K^I são parâmetros de ponderação no intervalo $[0,1]$ para tensão e corrente da linha. Além disso, para cada metabloco i , f_i^V e f_i^I são definidos como

$$f_i^V = \left(K^{V_{prec}} \times L_i^{V_{prec}} + K^{V_{crit}} \times L_i^{V_{crit}} \right) \times f_i^{Phy} \quad (3)$$

$$f_i^I = \left(K^{I_{prec}} \times L_i^{I_{prec}} + K^{I_{crit}} \times L_i^{I_{crit}} \right) \times f_i^{Phy} \quad (4)$$

onde $K^{V_{prec}}$, $K^{V_{crit}}$, $K^{I_{prec}}$ e $K^{I_{crit}}$ são parâmetros de ponderação no intervalo $[0,1]$ para níveis precários e críticos de tensão e corrente, de acordo com a regulamentação brasileira (ANEEL, 2018); $L_i^{V_{prec}}$, $L_i^{V_{crit}}$, $L_i^{I_{prec}}$ e $L_i^{I_{crit}}$ são os comprimentos da linha MT (média tensão) afetados pelos níveis de tensão e corrente precários e críticos da maneira correspondente. Vale ressaltar que $f_i^{Op} = 0$ para todos os metablocos sem violações. Como os valores de f_i^V e f_i^I podem diferir significativamente, eles são normalizados para o valor máximo encontrado entre todos os metablocos antes de serem multiplicados pelos respectivos fatores de ponderação.

2.5 Atributos de Contingência

Os atributos de contingência estão relacionados a quedas de energia e falhas do sistema em uma metabloco. Eles consideram o cálculo de consumidor interrompido (CI), consumidor hora interrompido (CHI), energia não distribuída (END) e número de interrupções (NI). A função de avaliação dos atributos de contingência de cada metabloco (f_i^{Con}) é dada por

$$f_i^{Con} = K^{CI} \times CI_i + K^{CHI} \times CHI_i + K^{END} \times END_i + K^{NI} \times NI_i \quad (5)$$

onde K^{CI} , K^{CHI} , K^{END} e K^{NI} são parâmetros de ponderação no intervalo $[0,1]$ para CI, CHI, END e NI. Da mesma forma, os atributos operacionais dos seus valores também são normalizados.

2.6 Formulação do problema

O problema é formulado como um problema de otimização para maximizar atributos físicos, operacionais e de contingência, considerando que a capacidade total de inspeção da concessionária é limitada. Matematicamente, é representado como mostrado em (6), em que I é o conjunto de todas as metablocos i após o estágio de pré-filtragem (isto é, apenas as metablocos com prioridade); x_i é uma variável binária para representar quais metablocos são selecionados para inspeção ($x_i = 1$) ou não ($x_i = 0$); f_i é a função de avaliação de cada metabloco; e K_{pen} é um parâmetro binário para penalizar a função objetivo se uma solução obtida exceder a capacidade de inspeção das equipes.

$$\max K_{pen} \times \left(\sum_{i \in I} (x_i \cdot f_i) \right) \quad (6)$$

O mencionado f_i representa uma função para quantificar e classificar uma ordem de prioridade para inspeções, e pode ser expresso como em (7). O último considera K^{Fis} , K^{Op} e K^{Con} como parâmetros de ponderação física, operacional e de contingência no intervalo $[0,1]$, enquanto $K^{Fis} + K^{Op} + K^{Con} = 1$; e K_i^{Outros} como uma função linear ascendente que aumenta f_i até 20% no tempo, desde que uma metabloco esteja operando sem inspeção no intervalo de um a três anos, conforme modelado em (8).

$$f_i = \left(K^{Fis} \times f_i^{Fis} + K^{Op} \times f_i^{Op} + K^{Con} \times f_i^{Con} \right) \times K_i^{Outros} \quad (7)$$

$$K_i^{Outros} = \begin{cases} (t - 1) \times 0.1 + 1, & \text{if } 1 \leq t \leq 3; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (8)$$

É de extrema importância garantir a normalização de f_i^{Fis} , f_i^{Op} e f_i^{Con} , a fim de evitar discrepâncias que negligenciem os efeitos de um ou outro atributo. O K_{pen} apresentado representa um parâmetro para penalizar a função objetivo ($K_{pen} = 0$) se uma solução ultrapassar a capacidade total de inspeção do utilitário (Cap_{total}) e é modelado como mostrado em (9). Por fim, a capacidade total de inspeção (Cap_{total}), representada por (10), considera o produto do número de equipes disponíveis (N_{teams}), a capacidade de inspeção de uma equipe em km / dia (Cap_{team}) e o ciclo de inspeção em dias (T)

$$K_{pen} = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{i \in I | x_i=1} L_i^{MV_{total}} \leq Cap_{total}; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (9)$$

$$Cap_{total} = N_{teams} \times Cap_{team} \times T \quad (10)$$

Como o objetivo das inspeções é ajudar as concessionárias a reduzir falhas de rede em suas redes e minimizar as interrupções do cliente, medidas diretamente pelos parâmetros de contingência, elas devem ter um fator de ponderação maior quando comparadas às demais. Os atributos físicos também devem assumir valores suficientemente altos, devido à sua característica de visar áreas com alta densidade de carga. Por outro lado, como os atributos operacionais são obtidos do fluxo de energia e é comum que os serviços públicos não disponham de informações confiáveis para esse tipo de dados, sugere-se considerar valores de atributos operacionais relativamente baixos para evitar resultados ruins como resultado de imprecisões entradas.

2.7 Algoritmo genético

A priorização proposta é baseada em um Algoritmo Genético (AG) com uma formulação binária e visa determinar o conjunto de metablocos que leva a uma soma maximizada de classificações. Cada cromossomo tem o tamanho do número de metablocos N_{MB} a serem priorizados e cada gene corresponde a uma metabloco específica e pode assumir um valor binário, representando se o respectivo metabloco deve ser priorizado ou não, conforme mostrado na Figura 2. Detalhes adicionais sobre os AGs podem ser encontrados em Goldberg (1989).

MB_1	...	MB_i	...	$MB_{N_{mz}}$
1	...	0	...	1

Figura 2 – Cromossomo de um AG binário

O processo de gênese é definido com uma probabilidade de 80% de um gene específico ser inicializado como 0, porque durante simulações experimentais foi verificado que em vários casos, no processo de inicialização de variáveis, havia um número significativo de cromossomos cujo comprimento total de metablocos excedia a capacidade total de inspeção. Nesses casos, o AG geralmente não foi capaz de evoluir e convergir para uma geração final cujo cromossomo melhor avaliado satisfizesse essa restrição. As etapas gerais executadas pelo AG estão resumidas abaixo:

- 1: Gênese;
- 2: Defina o número de gerações como critério de parada;
- 3: **enquanto** (critério de parada não for atendido) **faça**
- 4: Calcule a função *fitness* (7) para cada cromossomo;
- 5: Elitismo, mutação e crossover;
- 6: **fim enquanto**
- 7: Todas as variáveis x_i para o melhor cromossomo avaliado é tido como solução final.

3. TIPOS DE INSPEÇÃO

A existência de diferentes tipos de inspeção, com recursos operacionais variáveis, é tratada pelo agrupamento de metablocos a serem priorizados dependendo da região em estão localizados, ou seja, se em áreas urbanas ou rurais, pois a capacidade de inspeção pode diferir significativamente entre essas regiões e em sua posição relativa no alimentador, o que significa se está no tronco principal do alimentador ou não, pois a inspeção térmica é normalmente realizada nesse segmento em particular, enquanto a inspeção visual é realizada em toda a rede MT. A ferramenta desenvolvida pode dividir automaticamente os metablocos em seus grupos de acordo com uma metodologia específica adotada pela concessionária envolvida neste estudo. Depois que cada tipo de inspeção recebe um conjunto de metablocos a serem priorizados e a capacidade de inspeção, o AG é executado para cada grupo independentemente. Como a priorização do tipo de inspeção visual e urbana abrange o maior número de metablocos em comparação com os outros tipos, por uma questão de simplicidade de análise, o estudo de caso apresentado neste artigo considera apenas esse tipo de inspeção, sem perda de generalidade.

4. ESTUDO DE CASO: REDE DE DISTRIBUIÇÃO COM 08 ALIMENTADORES DE MT

O AG proposto é testado usando uma subestação de distribuição brasileira de 88 / 13,8 kV real, composta por 8 alimentadores de MT. Sua topologia é ilustrada na Figura 3.

A Tabela 1 mostra os principais atributos físicos e de contingência de cada alimentador. As medidas disponíveis de 10 minutos do SCADA, de janeiro a setembro de 2017, foram consideradas para o cálculo do perfil de demanda médio diário de 1 hora (Jardini et al., 2000). Como essas características foram avaliadas pela primeira vez, os atributos de contingência foram calculados por todos os dados de indisponibilidade do OMS disponíveis, que foram registrados de janeiro de 2013 a junho de 2018. No entanto, como o planejamento da inspeção da concessionária em questão geralmente respeita um ciclo anual, as próximas execuções devem considerar apenas os dados pertencentes ao último ciclo de planejamento. De fato, isso se aplica não apenas ao OMS, mas também a todos os dados do SCADA e GIS.

O número de metablocos (N_{MB}) é 89 na área urbana, consistindo em um comprimento total de linha de 115,51 quilômetros.

Tabela 1 - Características dos alimentadores

Atributo	Alimentador							
	A	B	C	D	E	F	G	H
L^{MV} [km]	60	48	16	31	52	40	85	9
kWh diário médio [MWh]	875	792	1497	566	1570	2426	236	807
N_{cons}	7586	6863	4856	5819	8155	5309	3690	1038
N_{Nb}	21	15	17	15	16	16	11	8
NI	2545	1637	647	206	1474	1197	2044	231

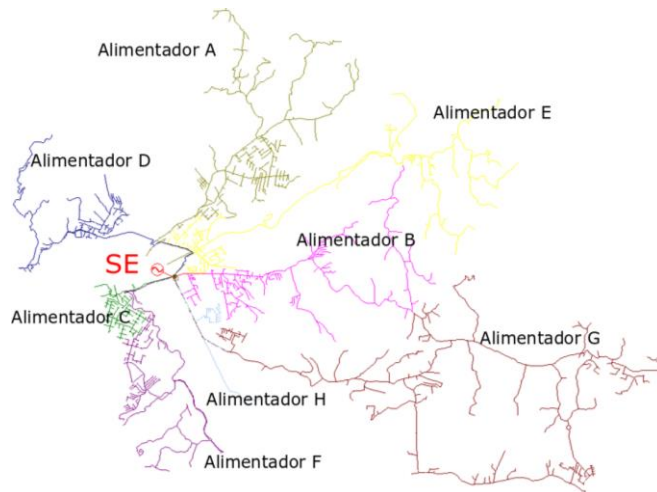


Figura 3 - Alimentadores MT do Sudeste do Brasil

4.1 Cálculo de Atributos de Metablocos

Para ajustar os atributos dos metablocos, $k^{Fis} = 0,4$; $k^{Op} = 0,1$ and $k^{Con} = 0,5$ foram usados. Conforme discutido na seção formulação de problemas, fatores de ponderação baixo e alto são considerados para os atributos operacionais e de contingência, respectivamente. Em relação aos fatores de ponderação dos atributos de contingência, foram utilizados: $k^{CI} = k^{CHI} = 0,15$; $k^{END} = 0,2$; and $k^{NI} = k^V = k^I = 0,5$. Por fim, para os atributos operacionais, o mesmo valor foi considerado para violações térmicas e de tensão, $k^{Vprec} =$

$k^{Iprec} = 0.25$. No entanto, supõe-se que a criticidade das violações na faixa crítica seja três vezes maior que as da faixa precária, portanto $k^{Vcrit} = k^{Icrit} = 0.75$.

5. RESULTADOS

5.1 Avaliação de metablocos

A Tabela 2 lista os metablocos mais bem classificados com a função de avaliação de todos os grupos de atributos normalizada para 1000. Pode-se ver que não há um único metabloco com o valor mais alto de todas as funções. Por exemplo, o metabloco com maior f apresenta o maior f^{Fis} , enquanto seu f^{Op} é desprezível em comparação com outros metablocos.

Tabela 2 - Cinco metablocos com melhor classificação

ID	Aliment.	$L^{MV}[km]$	f^{Fis}	f^{Con}	f^{Op}	f
1	C	4,1	1000	274,0	0,0	537,0
2	A	14,2	0,63	1000	0,67	500,0
3	F	8,7	615,0	237,2	1000	464,6
4	A	4,7	575,4	134,5	0,0	297,4
5	E	22,7	56,1	541,2	0,0	293,0

O efeito do alto peso atribuído ao grupo de atributos da contingência pode ser observado na função de avaliação do segundo metabloco melhor classificado. Embora os valores de f_2^{Fis} e f_2^{Op} sejam baixos em comparação com os outros, ele apresenta o maior f^{Con} . Assim, é razoável classificar MB_2 com uma extensão de 14,2 km como mais crítico que MB_4 com apenas 4,71 km e uma densidade de energia muito maior. Em outras palavras, de acordo com os fatores selecionados, é mais razoável “gastar” 14,2 km de capacidade de inspeção em MB_2 do que três vezes menos em MB_4 .

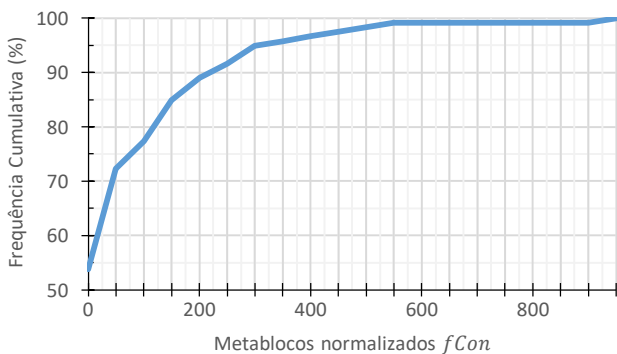


Figura 4 - Frequência cumulativa para f^{Con} normalizada

A Figura 4 mostra a distribuição cumulativa de frequências de f^{Con} , notando que poucos metablocos concentram os valores mais altos neste atributo. Com o tempo, a distribuição f^{Con} deve se tornar mais uniforme, pois é esperado que as inspeções nos metablocos que claramente apresentam problemas de confiabilidade levem a operações de manutenção preventiva mais eficazes que, em última análise, reduzirão o número de interrupções e consequentemente f^{Con} nos próximos ciclos de planejamento, especialmente se o principal motivo dessas interrupções estiver relacionado à infraestrutura. No entanto,

também é esperado que sempre existam alguns metablocos extremos em termos de f^{Con} devido a quedas de energia causadas por fenômenos naturais com severidade imprevisível. Uma vez alcançada a uniformidade de f^{Con} , o alto fator de ponderação K^{Con} se tornará menos relevante e a decisão sobre qual metabloco deve ser priorizado se tornará mais dependente dos outros grupos de atributos.

5.2 Dados de entrada do AG

Para este estudo de caso, a população inicial foi definida com 200 cromossomos. O número de gerações foi definido para 2000. E quanto à evolução do AG, foram selecionadas uma taxa de cruzamento de 75% e uma taxa de mutação de 1%. O número de equipes e a capacidade de inspeção por equipe selecionadas foram de 3 e 20 km / dia, respectivamente. Como o estudo considera uma única subestação, o período total de análise foi selecionado como 1,5 dia. Em seguida, a restrição da capacidade total de inspeção é de 90 km.

5.3 Priorização de Metablocos

O AG priorizou um número total de 70 de 89 metablocos, o que leva a um comprimento total de inspeção de 89,93 em 115,5 km. Observe que esse valor está próximo da capacidade total de inspeção de 90 km. O comprimento máximo de um metabloco não priorizado com uma classificação diferente de zero é de 0,27 km. Assim, a priorização de qualquer outro metabloco com uma classificação diferente de zero excederia a capacidade de inspeção. Um dos metablocos excluídos tem uma classificação zero e tem apenas 0,02 km de comprimento, o que se encaixa na capacidade restante de 0,07 km. Nessas situações, o AG não pode distinguir um cromossomo que inclua essa metabloco, uma vez que não traz benefícios para o objetivo de maximizar a função de avaliação. No entanto, metablocos com classificação zero são exceções. Eles geralmente aparecem devido a algum tipo de má formação do metabloco devido à regra de formação ou a dados GIS incorretos. Apesar disso, uma simples verificação do conjunto de metablocos não priorizados pode capturá-las ou pode ser deixado para ser priorizado obrigatoriamente após três anos, na fase de pré-filtragem.

Por fim, a Tabela 3 mostra alguns dos 89 metablocos considerados para inspeção, classificados da maior para a menor classificação. Como esperado, os metablocos com as classificações mais altas foram priorizados. À medida que a classificação de um metabloco fica semelhante à outra, e à medida que o AG evolui, naturalmente se tende a priorizar os metablocos com menor comprimento. Isso pode ser visto claramente para o metabloco com ID que varia de 54 a 63, pois os metablocos com maior comprimento MB_{55} e MB_{61} não foram priorizados, o que faz sentido, já que existem vários metablocos mais curtos cuja soma de seu comprimento tem um valor semelhante – mas direciona para uma função objetivo de maior valor. Por exemplo, comparando MB_{61} com os quatro últimos metablocos, a capacidade utilizada é de 2,37 km para ambos, enquanto a classificação total acumulada para a função de objetivo considerando MB_{61} é de apenas 23,35, e 44,33 no outro caso. A Figura 5 mostra todos os conjuntos de metablocos priorizados, e que estão destacados em cor vermelha sobre os alimentadores.

Tabela 3 - Metabloco Filtrados para Inspeção Urbana Visual

ID	Aliment.	L^{MV} [km]	f	Priorizado?
1	C	4,10	536,95	Sim
4	A	4,71	297,41	Sim
6	E	6,36	282,25	Sim
54	E	0,98	25,82	Sim
55	F	4,16	25,75	Não
57	A	1,1	25,04	Sim
58	A	0,62	24,56	Sim
60	A	1,2	24,07	Sim
61	C	2,37	23,35	Não
62	E	0,93	20,71	Sim
63	A	0,67	19,74	Sim
86	B	0,62	11,33	Sim
87	C	0,54	11,07	Sim
88	C	0,79	11,06	Sim
89	F	0,42	10,87	Sim

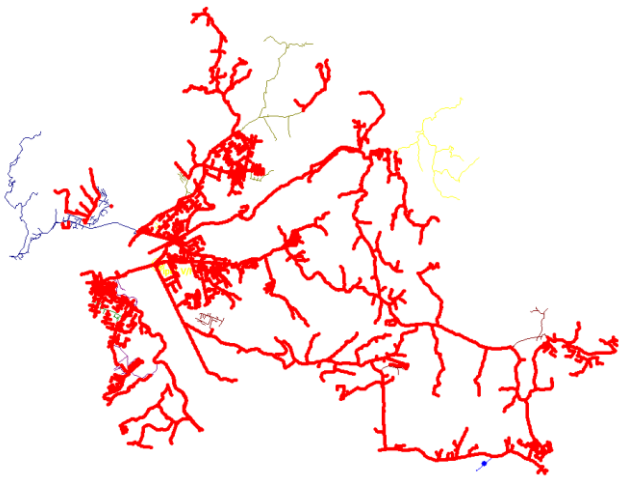


Figura 5 - Conjunto de metabloco priorizados (em vermelho)

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma abordagem baseada em AG para auxiliar na priorização de inspeções na área de serviço de uma concessionária de energia. O tempo sem inspeção dos segmentos de alimentador e a capacidade dos recursos operacionais disponíveis para inspecionar a rede de distribuição dentro de um período de tempo são consideradas. Para isso, os segmentos de alimentador são nomeados e definidos como metabloco e classificados com base em atributos físicos, operacionais e de contingência. As heurísticas também são usadas para viabilizar uma transição suave do uso de planilhas eletrônicas utilizadas para gestão do planejamento de inspeções para processos automatizados que auxiliem nas tomadas de decisão. A abordagem proposta é avaliada em uma rede de distribuição brasileira de 13,8 kV.

A metodologia proposta conseguiu selecionar um conjunto eficaz de metabloco para um ciclo de planejamento. Os resultados mostraram que foi possível alocar equipes com mais de 99,9% de sua capacidade de utilização. Além disso, embora os metabloco sejam classificados, é ineficiente simplesmente escolher aqueles de maior classificação, pois isso pode reduzir a utilização da equipe em relação à sua capacidade. O uso de um método de otimização como o AG os selecionou de forma

eficiente, pois leva em consideração o comprimento de cada metabloco. Por fim, destaca-se a importância de sistemas corporativos bem integrados, como sistemas GIS, OMS e SCADA, para uma priorização automatizada e efetiva das inspeções.

AGRADECIMENTOS

A metodologia apresentada neste artigo é produto de um projeto de P&D apoiado pela EDP Brasil. Os autores agradecem a esta empresa pelo suporte financeiro e informativo fornecidos.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST, Módulo 8, Qualidade da Energia elétrica”, 2018.
- EPRI, Utility Line Inspections and Audits: A Power Quality and Reliability Guidebook. Palo Alto, CA, 2007.
- D. E. Goldberg, 1989, Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, New York, USA.
- J. Heo, M. Kim, G. Park, Y. T. Yoon, J. K. Park, S. Lee, and D. Kim, “A reliability-centered approach to an optimal maintenance strategy in transmission systems using a genetic algorithm,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 26, pp. 2171–2179, Oct 2011.
- J. A. Jardini, C. M. V. Tahan, M. R. Gouvea, S. U. Ahn, and F. M. Figueiredo, “Daily load profiles for residential, commercial and industrial low voltage consumers,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 15, pp. 375–380, Jan 2000.
- P. A. Kuntz, R. D. Christie, and S. S. Venkata, “A reliability centered optimal visual inspection model for distribution feeders,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 16, pp. 718–723, Oct 2001.
- J. Luque, D. Straub, 2019, “Risk-based optimal inspection strategies for structural systems using dynamic Bayesian networks”, *Structural Safety*, vol. 76, pp. 68-80.
- Y. Yumbe, M. Miyakoshi, M. Kondo, T. Arao, N. Furukawa, 2017, “Evaluation of Optimization Method for Inspection Scheduling of Power Distribution Facilities Using Maintenance Data Accumulated by Power Utility”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, 696-702.