

Evento: XXV Seminário de Iniciação Científica

AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO COM ALOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO E MANOBRA¹ **EVALUATION OF DISTRIBUTION NETWORK RELIABILITY WITH ALLOCATION OF PROTECTION AND MANEUVERING EQUIPMENT**

Tiago Luft²

¹ Artigo realizado na disciplina de Confiabilidade Em Sistemas Elétricos de Potência do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Maria

² Aluno Especial Mestrado UFSM.

Introdução

Os sistemas de distribuição de energia elétrica requerem certa confiabilidade para fornecer energia elétrica sem interrupção. No caso do Brasil, a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, órgão do governo federal é responsável por regular e fiscalizar a atuação das concessionárias. Para isso, é estabelecido indicadores de continuidade no módulo 8 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST [1], sendo que no caso de violação das mesmas, a concessionária sofre penalização na forma de multas e ressarcimentos.

Outra relação ao baixo desempenho dos sistemas de distribuição é o custo operacional da empresa, onde, pode ser também considerado a questão da energia não suprida (ENS), o não faturamento de energia durante as interrupções. Este aspecto gera outra abordagem para a estimação da confiabilidade, relacionada ao impacto econômico das interrupções no fornecimento de energia [2].

As falhas nos sistemas de distribuição podem ser de diversos componentes, tais como, cabos, postes, transformadores, disjuntores, etc. Durante uma contingência, partes da rede são isoladas pelos equipamentos de proteção até que uma equipe de manutenção seja capaz de reparar a falha [2]. Mas, em alguns casos, este circuito seccionado afeta uma grande parcela de consumidores. Para minimizar o número de atingidos, existem chaves de manobras, que permitem isolar ou transferir cargas.

Para os sistemas de manobras são utilizados chaves que podem estar em dois estados, normalmente fechadas (NF) e normalmente abertas (NA). Elas são instaladas na busca de melhorar os índices de confiabilidade do sistema de distribuição, como duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC), duração equivalente de interrupção individual por unidade consumidora (DIC) e energia não suprida (ENS) [3].

Metodologia

Neste artigo são abordadas algumas alternativas para a redução dos indicadores de confiabilidade DEC, FEC (frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora) e ENS, tais como a alocação de chaves de manobra NF e NA automáticas, alocação de chaves fusíveis (FUs) em ramais não protegidos e melhoria de tempos de reparos (TR) e/ou taxas de falha. O presente artigo utilizou os dados dos alimentadores, bem como a metodologia empregada em [4], no qual calcula os indicadores por meio da Matriz Lógico Estrutural (MLE). Essa matriz considera a taxa de falha (λ), o tempo médio de reparo (TR), o número de consumidores (N) e a carga (L)

Evento: XXV Seminário de Iniciação Científica

para cada ponto da rede.

Resultados e Discussão

No presente estudo de caso foi utilizado uma parte dos alimentadores da região da ilha de Santa Catarina, o sistema total conta com 36 alimentadores, porém no presente estudo serão analisados apenas seis. O conjunto de alimentadores analisados está exposto na Figura 1. Cada alimentador possui uma subestação, representados pelos quadrados pretos.

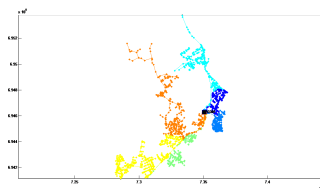


Figura 01 - Conjunto de alimentadores em estudo

As cores que representam cada alimentador são apresentadas: Alim. 23 - Azul forte; Alim. 24 - Azul; Alim. 26 - Ciano; Alim. 27 - Verde; Alim.28 - Amarelo; Alim. 29 - Laranja.

O primeiro passo para a aplicação de alternativas que proporcionem melhorias nos indicadores é a obtenção dos indicadores no caso base. Os valores para cada alimentador e para o conjunto estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1- Indicadores para o caso base

Alimentador	DEC()	FEC()	ENS()
23	21,48	26,75	2,66E+05
24	42,37	47,54	4,58E+05
26	30,95	30,03	2,38E+05
27	24,11	25,72	2,98E+05
28	29,86	33,24	6,23E+05
29	42,41	40,25	4,89E+05

Após a obtenção dos indicadores para o caso base, foram analisados os pontos com maiores taxas de falha (λ) e tempos de reparo (TR), bem como a posição onde se encontram para cada alimentador. Os valores estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2- Maiores valores de λ e TR

Alimentador	λ	Posição	TR	Posição
23	4,92	89	4,63	27
24	7,54	320	9,13	293
26	6,95	116	13,41	330
27	4,06	135	6,31	3
28	10,73	328	25,70	567
29	8,99	85	8,33	193

A primeira alternativa testada para redução nos indicadores foi modificar diretamente os valores de λ nos alimentadores 28 e 29 nas posições 328 e 85, respectivamente, e de TR nos alimentadores 24, 26 e 28 nas posições 293, 330 e 567, respectivamente, pois são os maiores valores de taxa de falha e tempo de reparo encontrados para o conjunto de alimentadores em estudo. Os valores utilizados foram os valores médios de λ e TR para cada alimentador e são apresentados nas Tabelas 3 e 4, juntamente com os indicadores para este caso.

Evento: XXV Seminário de Iniciação Científica

Tabela 3- Redução direta na taxa de falha

Alimentador	λ	Posição	DEC	FEC	ENS
28	0,24	328	196,00	196,23	2,31E+06
29	0,45	85	195,85	196,87	2,30E+06

Tabela 4- Redução direta no tempo de reparo

Alimentador	λ	Posição	DEC	FEC	ENS
24	1,20	293	194,64	195,33	2,31E+06
26	0,67	330	195,54	195,91	2,31E+06
28	0,74	567	195,74	198,55	2,29E+06

Com a substituição da taxa de falha nos dois alimentadores, foi possível obter um DEC igual a 190,68, FEC igual a 189,57 e ENS igual a 2,24E+06.

Neste primeiro caso a melhor alternativa para a redução nos três indicadores seria a redução na taxa de falha nos alimentadores 28 e 29 simultaneamente. Com relação ao tempo de reparo, se a prioridade for reduzir DEC e FEC somente a melhor alternativa é reduzir o tempo de reparo no ponto 293 do alimentador 24. Esse tempo de reparo pode ser reduzido diminuindo o tempo de ação da equipe que fara o reparo.

Outra forma de reduzir os indicadores é atuar no número de consumidores atingidos, como, por exemplo, inserindo chaves fusíveis em ramos desprotegidos do alimentador. Essa ação fara com que os consumidores a montante do nó não sofram com a interrupção.

A escolha das posições para inserção das chaves fusíveis foram baseadas nas posições das maiores taxas de falha do sistema. No alimentador 23 a posição escolhida foi a 33 pois esta protege o ramal do ponto 89 que possui a maior taxa de falha deste alimentador. No alimentador 26 foi escolhida a posição 119 a fim de diminuir a taxa de falha do ponto 116, já que a montante deste nó existem muitos consumidores e nenhuma chave de proteção, ou seja, qualquer interrupção a partir do ponto 116 afetaria o mesmo. Já no alimentador 29, a posição 88 foi escolhida a fim de reduzir a taxa de falha do ponto 85, ambos os pontos pertencem a um ramo longo, onde qualquer perturbação neste ramo afeta o ponto 85. Os indicadores para o conjunto de alimentadores com cada alteração está exposto na Tabela 5

Tabela 5 - Inserção de fusíveis em ramais desprotegidos

Alimentador	Posição FU	DEC	FEC	ENS
23	33	194,15	193,45	2,25E+06
24	320	197,08	195,34	2,32E+06
26	119	197,01	195,59	2,34E+06
27	119	194,03	192,88	2,27E+06
28	307	206,09	208,81	2,50E+06
29	88	198,94	199,13	2,34E+06

Neste caso a melhor solução, considerando como prioridade os indicadores DEC e FEC, foi a adição de uma chave fusível na posição 119 do alimentador 27, já com relação ao ENS a melhor alternativa é a inclusão de uma chave no alimentador 23, na posição 33.

Outra análise realizada foi a alocação de chaves NA e NF nos alimentadores, a fim de, em caso de interrupções, transferir a carga de um alimentador para outro. A metodologia utilizada leva em consideração o fluxo de potência do sistema para fornecer os possíveis pares de chaves NA e NF e determina os pontos candidatos a receber a chave NF para cada posição da chave NA em caso de transferência de potência. As melhores combinações dos pontos para NA e NF encontrados no presente trabalho para cada indicador são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Melhores ganhos na alocação de chaves de manobra

Alimentador	Posição NF	Posição NA	Indicador
23	19	49, 71, 101, 130	ENS
23	15	49, 71, 101, 130	FEC
24	277	307, 296	DEC

Evento: XXV Seminário de Iniciação Científica

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os resultados relativos ao ganho nos indicadores com a alocação das chaves nas posições apresentadas na Tabela 6.

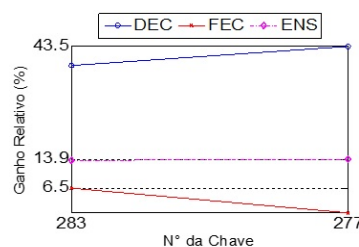
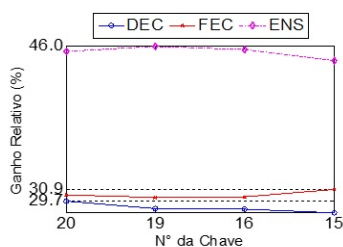


Figura 2. Ganho nos indicadores com alocação de chaves no Alimentador 23 Figura 3. Ganho nos indicadores com alocação de chaves no Alimentador 24

Analisando a Figura 2 pode-se observar que com a alocação da chave NF na posição 19 e da NA em qualquer um dos pontos apresentados na Tabela 6 o ganho de energia não suprida chega a 46%, da mesma forma que alocando uma chave NF na posição 15 o ganho de FEC é de 30,9%.

Com a análise da Figura 3 pode-se observar que o ganho de DEC com a alocação da chave NF no ponto 277 chega a 43,5%, porém o ganho nos outros indicadores não é muito significativo. A Tabela 7 apresenta os resultados para os três indicadores analisados com a alocação das chaves de acordo com a Tabela 6.

Tabela 7 - Indicadores do conjunto de alimentadores com alocação de chaves

Alimentador	Posição NF	DEC	FEC	ENS
23	19	194,96	195,47	2,25E+06
23	15	185,58	191,97	2,28E+06
24	277	160,95	160,53	2,31E+06

A partir destas análises pode-se constatar que a escolha da posição onde serão alocadas as chaves NA e NF depende do indicador que se procura melhorar.

Por último foi realizada uma análise com relação ao DIC e FIC, tendo em vista que não seria possível representar graficamente de forma legível esses indicadores para o conjunto de alimentadores em estudo, devido ao fato de serem indicadores individuais, optou-se por avaliar os indicadores para o alimentador 23, pois este apresentou os melhores resultados para alocação de chaves quando são analisados DEC, FEC e ENS. Para esta análise foram alocadas chaves NA na posição 49 e posteriormente na posição 190 do alimentador 23. Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os ganhos para cada posição.

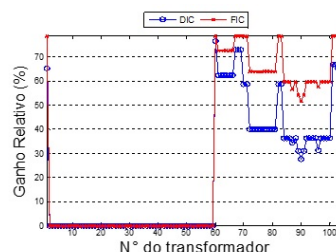
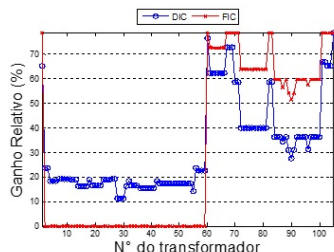


Figura 4. Ganho nos indicadores com alocação de chave NA na posição 49. Figura 5. Ganho nos indicadores com alocação de chave NA na posição 190.

Analisando as Figuras 4 e 5 pode-se observar que assim como para os indicadores FEC e ENS a

Evento: XXV Seminário de Iniciação Científica

alocação da chave NA na posição 49 apresentou um ganho maior em DIC quando comparada com a alocação na posição 190, enquanto que em FIC o ganho foi o mesmo.

Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma análise de confiabilidade de um conjunto de seis alimentadores. Foram testadas algumas ações, como a redução nas taxas de falha e tempos de reparo dos alimentadores que apresentavam os maiores valores, inserção de chaves fusíveis em ramais desprotegidos e alocação de chaves de manobras.

Os melhores resultados tendo em vista a redução dos indicadores foi a alocação de chaves de manobra, sendo que do conjunto de alimentadores analisados a melhor opção para redução de ENS foi a alocação de uma chave no alimentador 23, enquanto que para DEC e FEC a melhor opção foi a alocação no alimentador 24.

Também se pode constatar que embora o maior ganho em FEC tenha sido no alimentador 23, a maior redução para este indicador, quando o conjunto é avaliado, foi alocando a chave no alimentador 24. Os resultados obtidos em relação ao ganho para ENS e FEC também se aplicam para DIC.

Palavras-chave: Sistema de Distribuição; Indicadores de Confiabilidade; Equipamentos de Proteção e Manobra.

Referências bibliográficas

- [1] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Resolução N° 395, de 15 de dezembro de 2009. Aprova os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST, e dá outras providências.
- [2] FERREIRA, G. D. "Otimização da Confiabilidade de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Uma Abordagem Considerando a Seleção e Alocação de Dispositivos de Proteção e Manobras". Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS 2009.
- [3] Assis, L. S. "Otimização de Alocação de Chaves em Redes de Distribuição de Energia Elétrica. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, SP 2014.
- [4] Sperandio, M. "Planejamento da Automação de Sistemas de Manobra em Redes de Distribuição". Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, SC 2008.