

RELAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS DE CURVA DE DESEMPENHO E MAPA DE AJUSTES APLICADAS PARA PROTEÇÃO ANTI-ILHAMENTO

DANIEL MOTTER

*Programa de pós-graduação em engenharia elétrica e computação,
Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Av. Tarquínio Joslin dos Santos, n°1.300. CEP 85870-650, Foz do Iguaçu, PR, Brasil
E-mail: daniel.motter@unioeste.br*

JOSÉ C. M. VIEIRA

*Laboratório de Sistemas de Energia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação,
Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Avenida Trabalhador São-carlense, n°400. CEP 13566-590, São Carlos, SP, Brasil
E-mail: jcarlos@sc.usp.br*

Abstract— An islanded operation must be avoided in distribution systems, which consists of one or more distributed generators energizing a portion of the grid when a loss-of-main grid occurs. In order to identify and eliminate such operating condition, frequency and voltage-based protection functions are normally used. These functions can be adjusted by performance curves, which relate the tripping time with power unbalance, or with the setting map methodology, which maps the pick-ups and time delays that lead (or not) to the actuation. This paper presents the relationship between the performance curve methodologies and the adjustment map applied to the overfrequency protection function and highlights its characteristics and main differences.

Keywords— islanding, anti-islanding protection, frequency protection function, setting map methodology, performance curves.

Resumo— Nos sistemas de distribuição deve-se evitar a operação ilhada, que consiste em um ou mais geradores distribuídos energizando uma parcela da rede quando a conexão com a subestação é desfeita. Para identificar e eliminar tal condição operativa normalmente são utilizadas funções de proteção baseadas em medidas de frequência e tensão. Tais funções podem ser ajustadas pela metodologia de curvas de desempenho, que relacionam o tempo de atuação com o desbalanço de potência, ou com a metodologia de mapa de ajustes, que mapeia os ajustes e temporizações que levam ou não à atuação. Este artigo apresenta a relação entre as metodologias de curva de desempenho e mapa de ajustes aplicadas para a função de proteção de sobrefrequência, e ressalta suas características e diferenças principais.

Palavras-chave— ilhamento, proteção anti-ilhamento, função de proteção de frequência, metodologia de mapa de ajustes, curva de desempenho.

1 Introdução

A operação de sistemas de distribuição de energia elétrica tem o desafio técnico de detectar eventos de ilhamento, que podem ocorrer na rede quando unidades de geração distribuída (GD) energizam certa região elétrica, o que pode levar a população e equipes de manutenção ao risco de um sistema energizado. Portanto, unidades de geração distribuída conectadas nos sistemas de distribuição devem ser desconectadas caso um ilhamento ocorra na rede, e de acordo com a recomendação da IEEE 1547, a desconexão deve ocorrer em menos de dois segundos (IEEE, 2003).

Diversas técnicas para a identificação do ilhamento são propostas na literatura, que podem ser baseadas em medidas locais e/ou remotas ao ponto de acoplamento comum da GD, técnicas ativas que injetam sinais de perturbação, baseadas em sistemas de comunicação, entre outras (Mahat, 2008). Entretanto, proteções passivas, como funções de proteção baseadas em medidas de tensão e frequência, são convencionalmente aplicadas como proteção anti-ilhamento.

Segundo a o terceiro módulo dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), as funções de sub/sobrefrequência (ANSI 81U/O) devem ser instaladas nas GDs. Portanto, melhorar o ajuste desta função, de forma a identificar o ilhamento, apresenta menor custo de investimento que a implementação de novas técnicas. Entretanto, apesar de ser bastante aplicada, a função de sub/sobrefrequência apresenta zonas de não detecção (*non-detection zones*, NDZ) do ilhamento, indicando que deixa de atuar corretamente em certas condições de carregamento. Isto é, esta função tem que ser corretamente ajustada para minimizar a NDZ.

Na literatura são apresentadas metodologias de ajuste das proteções passivas, como a de sub/sobre frequência, que se baseia em medidas locais. A função de sub/sobrefrequência é diretamente proporcional ao desequilíbrio entre carga e geração ocasionado em uma ilha. Portanto, a metodologia de curvas de desempenho relaciona o tempo de atuação para o ilhamento com o desbalanço de potência ocorrido na ilha após sua formação (Vieira Jr., 2006), sendo que vários trabalhos usam este conceito (Freitas, Huang &

Xu, 2005); (Vieira Jr., 2006); (Zeineldin, 2008); (Zeineldin, Xiao & Alaboudy, 2012); (Suppioni & Grilo, 2012); (Motter, 2017).

Outra metodologia é a de mapa de ajustes, que apresenta a faixa de *pick-ups* e temporizações da função de proteção que resultam na atuação (Motter, 2017). Esta metodologia é recente, e foi apresentada em (Motter, 2017) e (Motter & Vieira Jr., 2018).

Este artigo tem o objetivo de relacionar as metodologias de curvas de desempenho e mapa de ajustes para a proteção de frequência. Serão destacadas as características particulares de cada método, e esclarecido que ambos apresentam resultados semelhantes quando comparados os tempos de atuação.

O artigo é dividido da seguinte forma: seção 2 apresenta a metodologia de curvas de desempenho; seção 3 a metodologia de mapa de ajustes; seção 4 a relação e comparação entre as metodologias; e seção 5 as conclusões.

2 Curvas de desempenho

A atuação das funções de proteção para eventos de ilhamento pode ser avaliada com base na relação com o desbalanço de potência, formando as curvas de desempenho (Vieira Jr., 2006). Na literatura as funções baseadas em medidas de frequência são relacionadas ao desbalanço de potência ativa (ΔP) (Vieira Jr., 2006); (Motter, 2017), sendo que quanto maior ΔP , maior e/ou mais rápida é a variação da frequência, resultando em menores valores de tempo de atuação (t_a). Entretanto, quanto menor ΔP , menor e/ou mais lenta é a variação da frequência, levando a maiores valores de t_a (Motter, 2017). Portanto, verifica-se que ΔP e t_a são inversamente proporcionais, conforme apresentado na Figura 1.

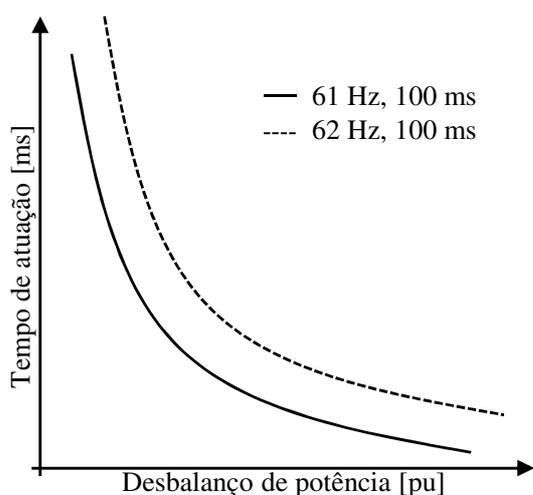


Figura 1. Curva de desempenho.

A Figura 1 é gerada para dois ajustes específicos. Como exemplo, é verificado que ao utilizar os ajustes de 61 e 62 Hz, ambos com temporização de 100 ms, o tempo de atuação para o ajuste menos sensível é

maior para mesmos valores de ΔP . Portanto, para selecionar o ajuste utilizando a metodologia gráfica de curvas de desempenho é preciso obter as relações ΔP versus t_a para cada ajuste avaliado, e então concluir sobre o melhor com base no tempo de atuação ou desbalanço de potência requisitados.

Para um ilhamento de um gerador síncrono, cargas modeladas como potência constante e desconsiderando as perdas da rede, relaciona-se t_a da função de proteção de sub/sobrefrequência ao desbalanço de potência ativa conforme (1) (Vieira Jr., 2006), sendo H a constante de inércia do gerador síncrono (em s), Δf o ajuste em função da variação em relação à frequência nominal f_0 (em Hz), ΔP é o desbalanço de potência ativa (em pu) e T_{set} é a temporização (em s). Caso seja sabido o valor de ΔP e o tempo de atuação necessário, pode-se obter o ajuste de *pick-up* da função de frequência em (2), desde que seja atribuído um valor de temporização T_{set} . Isto é, através de (2) pode-se definir o *pick-up*, desde que seja um sistema com um gerador síncrono, cargas de potência constante, e que as perdas sejam desprezadas.

$$t_a = \frac{2H\Delta f}{f_0\Delta P} + T_{set} \quad (1)$$

$$\Delta f = \frac{f_0\Delta P}{2H}(t_a - T_{set}) \quad (2)$$

3 Mapa de ajustes

A metodologia de mapa de ajustes resulta em uma região de *pick-ups* e temporizações da função de proteção que levam a atuação para dada oscilografia, e é detalhada em (Motter, 2017). Para apresentar o método adota-se a oscilografia de frequência da Figura 2, resultante de um evento ocorrido em t_{evento} , que inicialmente estava em seu valor nominal f_0 .

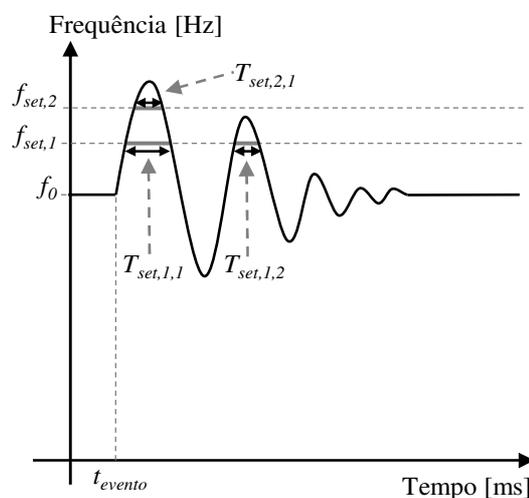


Figura 2. Exemplo de oscilografia. Fonte: (Motter, 2017).

Observa-se na Figura 2 que se a função de sobrefrequência for ajustada com o *pick-up* $f_{set,2}$ e com temporização (T) menor que $T_{set,2,1}$, então a função atuará para o evento que originou esta oscilografia. Caso contrário, a função não atuará. Portanto, esta informação é usada para gerar o mapa de ajustes da Figura 3, que relaciona *pick-up* com T (Motter, 2017).

Para o ajuste $f_{set,1}$ da Figura 2 há mais de uma violação do ajuste. A primeira violação apresenta temporização $T_{set,1,1}$ e a segunda $T_{set,1,2}$. Portanto, usa-se o maior valor entre eles, pois se busca mapear quais são os ajustes que levam à atuação da proteção para a oscilografia da Figura 2. Por fim, a Figura 3 resulta no comportamento inversamente proporcional entre ajuste e temporização, sendo que deve ser elaborada para uma quantidade suficiente de *pick-ups* (Motter, 2017). Além disso, qualquer ajuste abaixo da curva da Figura 3 é mais sensível que o limiar de atuação, e assim, leva à atuação da proteção para a oscilografia em análise.

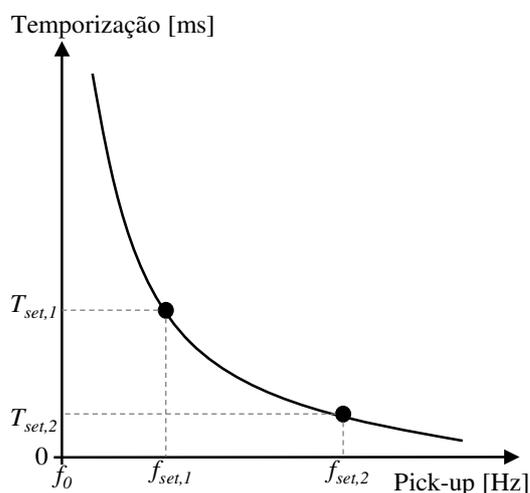


Figura 3. Mapa de ajustes. Fonte: (Motter, 2017).

Um mapa de ajustes obtido por simulação é apresentado na Figura 4 para a proteção de sobrefrequência (Motter, 2017). Por exemplo, o ajuste de 61 Hz e 200 ms é sensível o suficiente para levar a função de proteção à atuar para o evento que originou este mapa. O mesmo não ocorre para o ajuste 61 Hz e 300 ms, que não leva à atuação da proteção. Portanto, uma vez gerado o mapa de ajustes, pode-se verificar qual deve ser o *pick-up* e temporização da proteção para que ela atue para o evento em análise.

Outra grande vantagem do mapa de ajustes é relacionar eventos distintos no mesmo sistema de coordenadas. Isto é, podem-se aplicar diversos eventos de ilhamento e curto-circuito, registrar as oscilografias de cada evento, e gerar os mapas de ajustes. Um exemplo é apresentado na Figura 5, que ilustra diversos eventos de ilhamentos e curtos-circuitos no mesmo plano. Tais informações são importantes para ajustar corretamente a função de proteção para detectar adequadamente os eventos de ilhamento, mas evi-

tar que atuem incorretamente para eventos de curto-circuito (Motter, 2017).

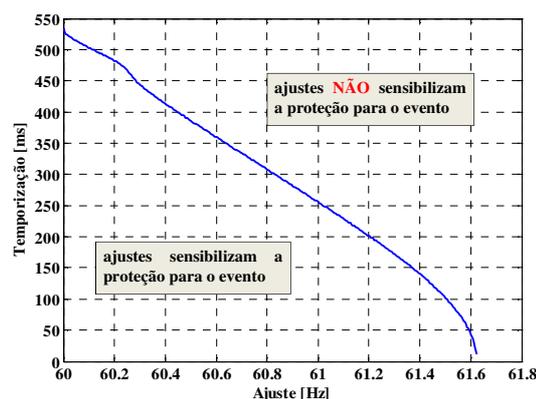


Figura 4. Regiões de atuação e não atuação.

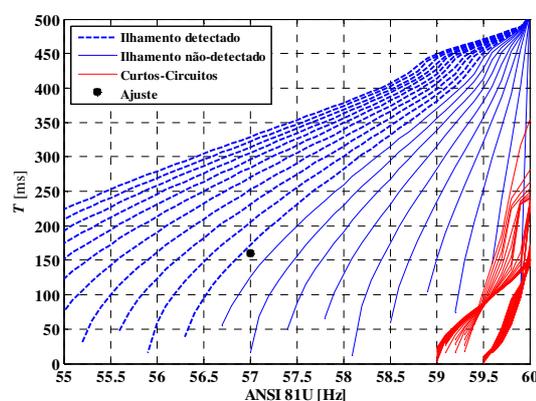


Figura 5. Consideração de eventos distintos no mesmo sistema de coordenadas. Fonte: (Motter, 2017).

Os resultados das Figuras 3, 4 e 5 não estão associados ao tempo de atuação, mas este pode ser obtido registrando cada intervalo de tempo. Observando a Figura 6 nota-se que se a T for menor que $T_{set,1,1}$, então a proteção atua para o evento que originou esta oscilografia, e a atuação ocorre entre os tempos $t_{a,1i}$ e $t_{a,1f}$ que são os tempos de atuação inicial (i) e final (f) para o intervalo 1.

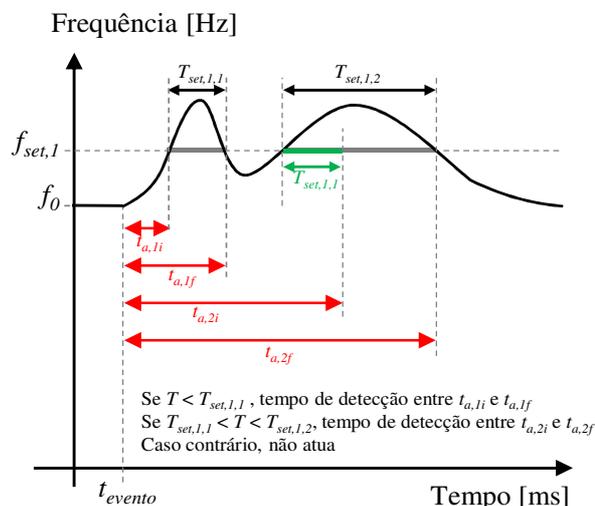


Figura 6. Tempos de atuação pelo mapa de ajustes.

Caso T seja maior que $T_{set,1,1}$ e menor que $T_{set,1,2}$ na Figura 6, a função de proteção ainda atua, mas o tempo de atuação estaria entre os $t_{a,2i}$ e $t_{a,2f}$, relacionado ao intervalo 2. Observa-se que no segundo intervalo foi destacado $T_{set,1,1}$ em verde. Neste tempo não haverá atuação, pois se T for menor que $T_{set,1,1}$, a função teria atuado no primeiro intervalo, não atuando no segundo.

4 Relação entre metodologias

Para ilustrar a relação entre a curva de desempenho e o mapa de ajustes foram utilizados quatro eventos de ilhamentos em condições operativas distintas, sendo que os detalhes sobre a origem dos eventos são apresentados em (Motter, 2017). As oscilografias são ilustradas na Figura 7, sendo que o evento ocorre em 0 ms (antes do evento o sinal se encontra em regime permanente, 60 Hz). Além disso, foi utilizado o *Alternative Transients Program* (ATP) com passo de simulação (Δt) de 65,10417 μ s (256 amostras por ciclo de 60 Hz) e passo da proteção (Δt_p) de 0,520833 ms (32 amostras por ciclo de 60 Hz) (Motter, 2017).

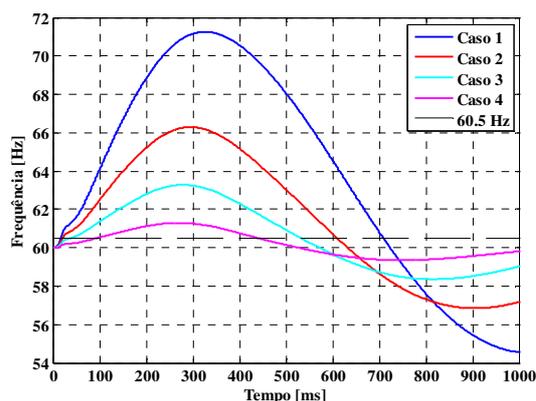


Figura 7. Oscilografias. Fonte: (Motter, 2017).

Na Figura 7 houve apenas uma faixa que cruza o ajuste de 60,5 Hz, diferentemente do que ocorre no exemplo didático da Figura 6. Os eventos da Figura 7 resultam na curva de desempenhos da Figura 8 para a proteção de sobrefrequência ajustada em 60,5 Hz e 160 ms, sendo o eixo das abscissas o desbalanço de potência ativa, em por unidade (valores negativos indicam excesso de potência ativa na ilha, o que resulta em sobrefrequência). Além disso, com base em cada oscilografia da Figura 7 é obtido um dos mapas de ajuste da Figura 9.

Observa-se que na Figura 9 são destacadas as temporizações que interceptam a reta paralela de 60,5 Hz nos quatro mapas de ajuste. O valor destacado representa a máxima temporização para que haja atuação da proteção para cada um dos quatro casos (Motter, 2017). Além disso, são apresentados os ajustes que nunca sensibilizariam a proteção. Por exemplo, observa-se que na Figura 7 e 9 o ajuste de 62 Hz nunca é alcançado para o caso 4. Isto é, ajustando a função

de proteção em 62 Hz (e qualquer temporização), o ilhamento referente ao caso 4 nunca seria detectado. Tal conclusão não pode ser retirada pela análise direta da curva de desempenho, pois cada curva representa um ajuste fixo (Motter, 2017).

Na Tabela 1 são apresentados os tempos verificados na Figura 7. Pelo mapa de ajustes o tempo de atuação é obtido pela combinação do tempo em que o sinal viola o *pick-up* e do valor da temporização, desde que o resultado não supere o tempo em que sinal deixa de violar o *pick-up* analisado.

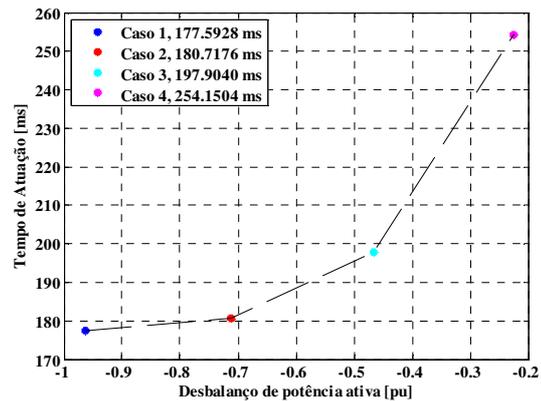


Figura 8. Curva de desempenho para 60,5 Hz, 160 ms. Fonte: (Motter, 2017).

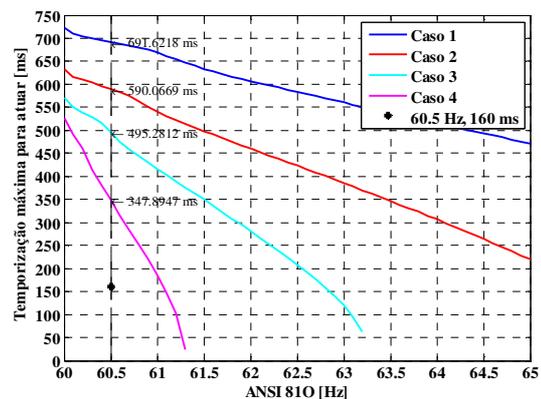


Figura 9. Mapa de ajustes. Fonte: (Motter, 2017).

Tabela 1. Instantes específicos ao ajuste de 60,5 Hz.

Caso	Instante em que a frequência viola 60,5 Hz	Instante em que a frequência retorna abaixo de 60,5 Hz	Diferença
1	17,1871	708,8089	691,6218
2	20,3114	610,3783	590,0669
3	37,4975	532,7787	495,2812
4	93,7443	441,63895	347,8947

Para exemplificar, a Figura 10 apresenta a linha de tempo do caso 1. É observado que o tempo necessário para a frequência atingir o valor de 60,5 Hz é de 17,1871 ms, e se estiver ajustada em 160 ms de temporização, então o tempo de atuação da proteção ocorre em 177,1871 ms. Caso o ajuste seja de 60,5 Hz, mas a temporização seja muito grande a ponto de que o sinal deixe de violar a frequência de

60,5 Hz (o que ocorre em 708,8089 ms na Figura 7), então a função de frequência não atua.

Continuando no exemplo do caso 1, nota-se que o tempo de atuação (t_a) é a soma do instante de violação com a temporização de 160 ms. Caso o resultado (177,1871 ms) seja menor que o instante em que o sinal deixa de violar (708,8089 ms), então o tempo de atuação está correto. Portanto, a Tabela 2 é gerada, de forma a calcular o tempo de atuação e verificar se a restrição é satisfeita.

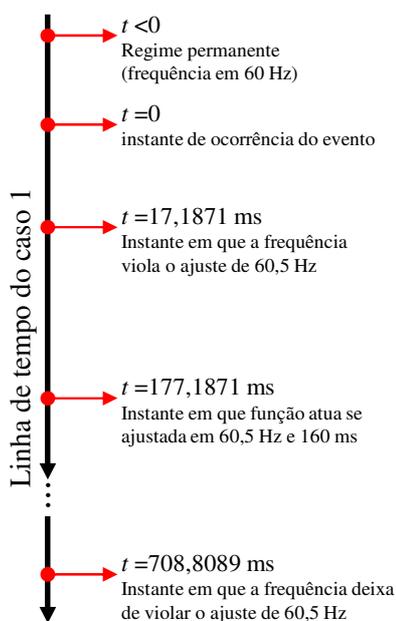


Figura 10. Linha de tempo do caso 1.

Tabela 2. Tempos de atuação relacionados a 60,5 Hz no mapa de ajustes.

Caso	Instante em que a frequência viola 60,5 Hz	t_a [ms]	$t_a <$ Instante em que a frequência retorna abaixo de 60,5 Hz?
1	17,1871	177,1871	Sim
2	20,3114	180,3114	Sim
3	37,4975	197,4975	Sim
4	93,7443	253,7443	Sim

Antes comparar os resultados do mapa de ajustes com o tempo de atuação dado na Figura 8 pela curva de desempenho, deve-se levar em conta a amostragem da proteção do ATP. Isto é, a curva de desempenho é obtida pela função de sobrefrequência modelada no ATP com 32 amostras por ciclo, enquanto o mapa de ajustes simplesmente soma 160 ms ao tempo de cruzamento. Ao usar a temporização de 160 ms, a avaliação do ajuste será feita entre passos fixos de tempo. Segundo o vetor obtido do ATP, a discretização temporal assume os valores apresentados na Tabela 3.

O valor exato de 160 ms não é registrado na Tabela 3, pois na discretização, o próximo número é 160,4071 ms. Isto é, a função de proteção verifica se o sinal é violado por mais de 160 ms, mas só irá concluir se tal condição foi satisfeita após 160,4071 ms. Esta diferença deve ser considerada ao comparar o

mapa de ajustes à curva de desempenho, pois a curva de desempenho foi obtida por uma função de proteção modelada no ATP (e assim, usa o valor de 160,4071 ms). Portanto, corrigindo a temporização para a comparação na Tabela 4, verifica-se que a diferença entre o mapa de ajustes e curva de desempenho é de 1 μ s, que é menor que um passo de integração da simulação do ATP.

Tabela 3. Vetor de tempos, em [ms].

$t[k]$	$t[k+1]$	$t[k+3]$	$t[k+4]$	$t[k+5]$
157,2819	157,8026	158,3233	158,844	159,3657
$t[k+6]$	$t[k+7]$	$t[k+8]$	$t[k+9]$	$t[k+10]$
159,8864	160,4071	160,9278	161,4485	161,9692
$t[k+11]$	$t[k+12]$	$t[k+13]$	$t[k+14]$	$t[k+15]$
162,4899	163,0106	163,5313	164,052	164,5727

Tabela 4. Comparação com adaptação da amostragem. Baseado em: (Motter, 2017).

Caso	Curva de desempenho [ms]	Mapa de ajustes corrigido [ms]	Diferença [ms]
1	177,5928	177,1871 + 0,4071	0,001
2	180,7176	180,3114 + 0,4071	0,001
3	197,9040	197,4975 + 0,4071	0,001
4	254,1504	253,7443 + 0,4071	0,001

O mapa de ajustes, associado ao armazenamento dos intervalos apresentados na Figura 6 para cada *pick-up*, permite que seja resgatado o tempo de atuação associado ao ajuste e temporização definidos. Portanto, é possível executar estudos de proteção para diversos ajustes e temporizações sem simular novamente o evento.

As Figuras 11 e 12 apresentam a comparação entre simulações convencionais e o mapa de ajustes, considerando a simulação de vários eventos. A simulação da Figura 11 necessita do ajuste das proteções antes da simulação iniciar. Reajustando a proteção, é preciso simular novamente o evento, caso não se tenha registrado a oscilografia. Já para gerar o mapa de ajustes é necessária apenas uma simulação para cada evento, e alterações no ajuste são verificadas diretamente (Motter, 2017).

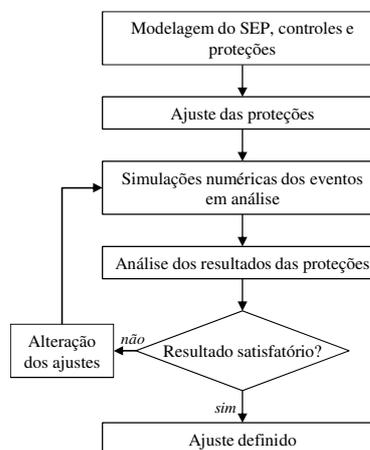


Figura 11. Ajuste baseado em repetidas simulações. Fonte: (Motter, 2017).

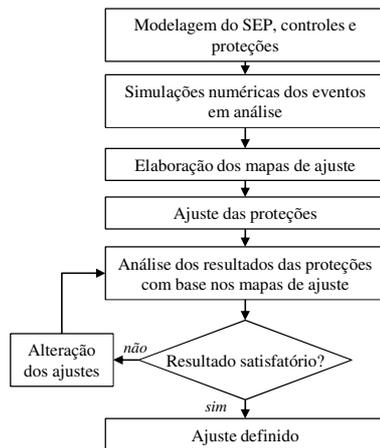


Figura 12. Ajuste baseado no mapa de ajustes. Fonte: (Motter, 2017).

A seguir são comparadas as características da curva de desempenho e do mapa de ajustes.

- **Necessidade de simulação transitória:** a curva de desempenho necessita de simulações (ou testes em campo) em situações que se precisa de informações mais precisas. Aproximações dos tempos de atuação ou ajuste podem ser feitas com as expressões (1) ou (2), por exemplo, desde que seja para um gerador síncrono com cargas potência constante, e desprezando perdas. O mapa de ajustes sempre precisa de simulações transitórias ou coleta de oscilografias em campo;
- **Dados de entrada:** a curva de desempenho tem como entrada o desbalanço de potência e o ajuste da proteção. Nota-se que pode ser impraticável obter o desbalanço de potência em sistemas reais, por falta de medidas no local de ocorrência do ilhamento. O mapa de ajustes, por sua vez, usa oscilografias do evento coletadas de medidores ou relés no ponto de conexão, que podem ser obtidas por simulações computacionais ou medições em campo;
- **Saída/Resultado:** a curva de desempenho resulta no tempo de atuação, enquanto o mapa de ajustes fornece a relação entre *pick-ups* e temporizações que resultam na atuação (ou não) da função de proteção;
- **Análise de outros ajustes:** a curva de desempenho necessita de novas simulações, ou reprocessamento da oscilografia para avaliar a atuação da proteção. Para o mapa de ajustes não é necessário repetir simulações ou reprocessar a oscilografia;
- **Características para análise do ilhamento:** a curva de desempenho pode coordenar as proteções por regiões de não-detecção do ilhamento baseadas no desbalanço de potência. No mapa de ajustes os eventos são apresentados em cada mapeamento, e todas as funções de proteção podem ser analisadas paralelamente;
- **Características para análise de segurança:** usando o método de curva de desempenho, a análise de eventos de outra natureza, como cur-

tos-circuitos e chaveamentos de carga, deve ser realizada separadamente. Isto é, este método é exclusivo ao ilhamento. No mapa de ajustes todos os tipos de eventos são apresentados em cada mapa, sendo todas as funções de proteção analisadas paralelamente.

5 Conclusão

Este artigo apresentou a comparação entre mapa de ajustes e curvas de desempenho. Nota-se que curvas de desempenho relacionam o tempo de atuação com desbalanço de potência, e o mapa de ajustes resulta na região que leva (ou não) à atuação da função de proteção em análise.

O mapa de ajustes apresenta duas vantagens principais sobre as curvas de desempenho, que seria a possibilidade de relacionar eventos distintos no mesmo plano, e por não necessitar de novas simulações para avaliar outros ajustes. Já as curvas de desempenho tem a vantagem de indicar um resultado aproximado por equações analíticas. Isto é, mesmo sabendo que o resultado pode apresentar erros (por ser valido para condições bem especificas), informações aproximadas são úteis para uma prévia indicação do ajuste.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo suporte financeiro disponibilizado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências Bibliográficas

- Agência Nacional de Energia Elétrica, "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição (revisão 7)," Agência Nacional de Energia Elétrica, 2017.
- Freitas, W., Huang, Z. and Xu, W (2005). A Practical Method for Assessing the Effectiveness of Vector Surge Relays for Distributed Generation Applications. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 20, n. 1, p. 57-63.
- IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. IEEE Standard 1547TM-2003 (R2008), 2003.
- Mahat P, Chen Z & Bak-Jensen B 2008, 'Review of Islanding Detection Methods for Distributed Generation', in DRPT2008, Nanjing, april 2008, pp. 2743-2748.
- Motter, D 2017, Metodologias de ajuste das proteções anti-ilhamento de geradores distribuídos considerando múltiplos eventos, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de

São Carlos, Universidade de São Paulo, acesso em 23 Mar 2018, <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18154/tde-22012018-085207/pt-br.php>>.

- Motter, D 2018, and Vieira Jr, J. C. M (2018). The Setting Map Methodology for Adjusting the DG Anti-Islanding Protection Considering Multiple Events. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 99 (IEEE Early Access Articles).
- Suppioni V. P, Grilo A. P 2012 'Evaluation of islanding detection of systems with fixed speed wind turbines' in 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, p. 1-6.
- Vieira Jr, J. C. M 2006, Metodologias para Ajuste e Avaliação do Desempenho de Relés de Proteção Anti-Ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Estadual de Campinas, acesso em 23 Mar 2018, <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOS_IP/260506/1/VieiraJunior_JoseCarlosdeMelo_D.pdf>.
- Zeineldin, H. H 2008, 'Application region of frequency relays for distributed generation', in 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, p. 1-5.
- Zeineldin H, Xiao W & Alaboudy, A. K 2012 'Performance of frequency relays with multiple synchronous based DG units' in 2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Hangzhou, p. 1616-1620.