

Análise da Influência da Resposta Transitória de TPC sobre Funções de Proteção Aplicadas no Domínio do Tempo

Edson A. Custódio
Universidade de Brasília (UnB)
edsoncusto@gmail.com

Felipe V. Lopes
Universidade de Brasília (UnB)
felipevlandes@unb.br

João Paulo G. Ribeiro
Universidade de Brasília (UnB)
joaopauloribeiro@aluno.unb.br

Resumo — Neste trabalho, realiza-se a análise da influência dos transformadores de potencial capacitivos (TPC) sobre as funções TD21 e TD32, que consistem em proteções aplicadas no domínio do tempo a partir da análise de grandezas incrementais. As funções TD21 e TD32 são capazes de operar em poucos milissegundos para uma grande variedade de faltas e condições do sistema, sendo consideradas promissoras no mercado de relés numéricos. As análises são baseadas em simulações de faltas em um sistema fictício por meio do ATPDraw e simulações computacionais das funções de proteção avaliadas. Dos resultados obtidos, percebe-se que os desempenhos das funções TD21 e TD32 dependem não só das características de falta, mas também, da resposta transitória dos TPC, por meio dos quais os sinais de tensão são medidos.

Palavras-chaves — Grandezas incrementais, proteção direcional, proteção de distância, TD32, TD21, TPC.

I. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a demanda por energia elétrica e o nível de exigência dos consumidores que utilizam este insumo tem sido crescente. Desta forma, concessionárias têm investido em sistemas de monitoramento que viabilizem o fornecimento da energia elétrica de forma confiável e segura, com boa continuidade de serviço [1].

No contexto supracitado, considerando os fatores relativos à estabilidade do sistema elétrico, sabe-se que a diminuição do tempo de eliminação de faltas em linhas de transmissão (LT) resulta na possibilidade de uma maior transferência de potência nas redes de transmissão [1]. Sendo assim, com o uso de relés de proteção que apresentam tempos de eliminação de faltas menores é possível aumentar a quantidade de potência transferida nas LT que já estão em uso [2]. Segundo [3], a redução de um ciclo no tempo de eliminação de uma falta para uma dada linha da *Bonneville Power Administration* (BPA) viabilizou o aumento da transferência de potência em 250 MW, ou seja, 15 MW/ms.

A proteção convencional baseada na análise de fasores fundamentais da tensão e corrente possui tempos de operação da ordem de 1 a 1,5 ciclos fundamentais [1]. Isso resulta do fato dos algoritmos de estimação de fasores necessitarem de um conjunto específico de amostras do sinal estudado (processo de janelamento de dados) para estimar as grandezas na frequência fundamental [4]. Uma das formas de reduzir os tempos de atuação da proteção do sistema elétrico é não

utilizar a estimação de fasores [2]. Para tanto, considera-se como solução factível o uso de funções de proteção no domínio do tempo, a exemplo dos elementos: direcional TD32; e de distância TD21. Ambas as funções estão disponíveis no relé T400L, reportado em [5],[6], e se baseiam na análise de grandezas incrementais, as quais são obtidas a partir do princípio da superposição aplicado aos sinais de tensão e corrente [5],[6].

A função TD32 utiliza os valores das tensões e correntes incrementais para realizar a proteção, identificando a direcionalidade de curtos-circuitos [5], [6]. Sendo assim, essa função pode verificar a existência de curtos diretos e reversos em poucos milissegundos após o início da falta [2]. Utilizando a função TD32 em ambos os terminais das LT é possível verificar a existência de curtos internos em poucos milissegundos, de 1 a 4 ms [2],[5],[6], adicionados aos tempos de transmissão de dados dos canais de comunicação entre os terminais da LT [2]. Por outro lado, a função TD21 realiza a comparação entre a tensão calculada no ponto de alcance ajustado usando valores instantâneos da tensão de pré-falta e da tensão incremental [5]. Comparando ambas grandezas, obtém-se um tempo médio de operação do elemento TD21 da ordem de 4 ms [6].

Uma vez que as funções TD32 e TD21 utilizam sinais de tensão e corrente para tomada de suas decisões, e sendo esses sinais disponibilizados pelos transformadores para instrumentos, entende-se que é necessária uma análise a respeito da influência destes equipamentos de medição sobre o desempenho destas funções [2], considerando diferentes TPC e transformadores de corrente (TC). Neste trabalho, as análises são voltadas apenas para a avaliação da influência da resposta transitória de diferentes modelos de TPC sobre as funções TD32 e TD21. Embora em [2] tenha sido apresentada uma avaliação similar para a TD32, a TD21 não foi analisada, fazendo-se necessária a inclusão dessa função no referido estudo. Por isso, avalia-se neste trabalho a influência da resposta transitória dos TPC sobre os tempos de atuação das funções TD32 e TD21.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Resposta em Frequência dos TPC Avaliados

Para avaliação da influência dos TPC sobre as funções de proteção TD32 e TD21, três modelos de TPC de 230 kV

são avaliados, os quais, por questões de simplificação, são chamados de TPC 1, TPC 2 e TPC 3. Os modelos dos TPC 1 e 2 são provenientes de uma avaliação de TPC reais dos tipos HAEFELY CVE230 e TRENCH TEM230H, respectivamente. Por outro lado, o TPC 3 consiste em um modelo proposto pelo IEEE para estudos relacionados à proteção de sistemas elétricos. Vale ressaltar que os sinais de corrente utilizados pelas funções TD21 e TD32 foram tomados de um TC ideal. Os projetos detalhados dos TPC 1 e 2 podem ser encontrados em [7], e o do TPC 3 em [8].

Devido às diferenças dos circuitos de cada TPC, as respostas em frequência de ganho e fase são distintas. Desta forma, a influência dos TPC sobre as funções TD32 e TD21 são diferentes. Utilizando a rotina FREQUENCY SCAN do ATP, que possibilita a realização da varredura em frequência de circuitos, foram obtidas as respostas em frequência de módulo e fase dos TPC 1, 2 e 3 para a faixa de frequência entre 1 Hz e 100 kHz. Nas Figs. 1, 2 e 3, apresentam-se os resultados obtidos, onde V_{PRI} é a resposta em frequência relacionada à tensão primária e V_{SEC} é a resposta em frequência relacionada à tensão secundária do TPC.

Avaliando os resultados obtidos, verifica-se que os modelos utilizados reproduzem corretamente as tensões do sistema na frequência fundamental (ganho unitário e ângulo de fase nulo na resposta em frequência), porém o mesmo não ocorre para as demais frequências, resultando em transitórios distorcidos. Observando a resposta em frequência de fase dos TPC avaliados é possível notar que são inseridos erros em grande faixa da resposta, alcançando valores de até 150° . Em relação à resposta em frequência de ganho, nota-se que os TPC 1 e 3 promovem a atenuação de componentes de baixa e alta frequência, enquanto que o TPC 2 atenua as componentes de baixa frequência e amplifica as componentes de alta frequência. Desta forma, em casos nos quais a tensão do sistema possui componentes diferentes da fundamental, a medição pode exercer influência sobre o desempenho das funções de proteção no domínio do tempo.

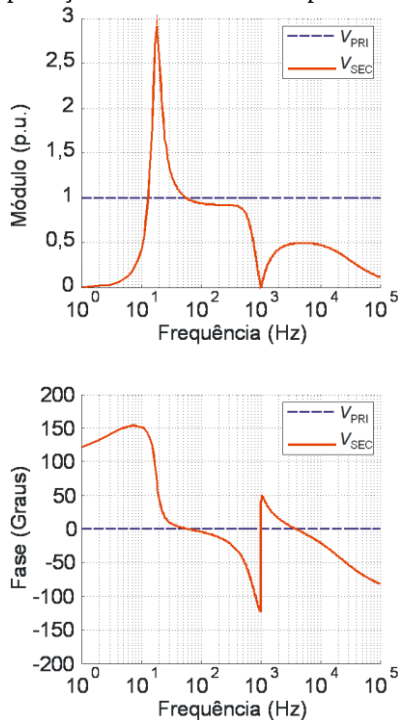


Fig. 1. Resposta em frequência calculada via FREQUENCY SCAN do ATP para o TPC 1.

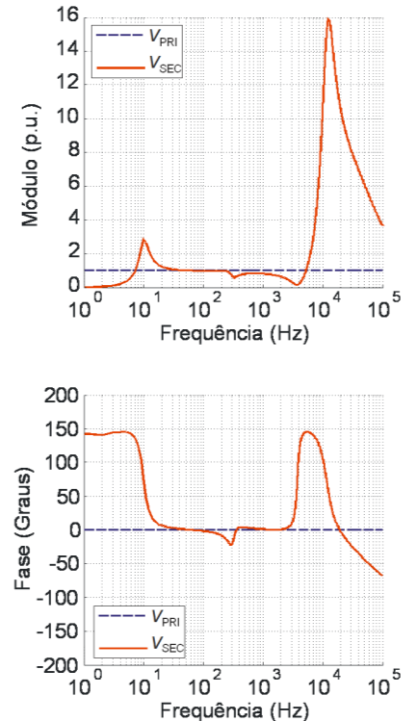


Fig. 2. Resposta em frequência calculada via FREQUENCY SCAN do ATP para o TPC 2.

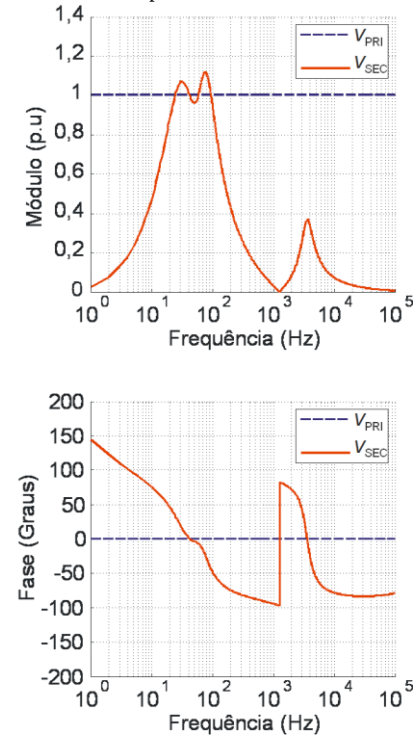


Fig. 3. Resposta em frequência calculada via FREQUENCY SCAN do ATP para o TPC 3.

B. Função TD32

Neste trabalho, a função TD32 foi implementada conforme apresentado em [5]. A função é baseada no cálculo do torque, que é o produto das grandezas incrementais Δs de tensão (Δv) e corrente réplica (Δi_z). As grandezas incrementais são obtidas da diferença entre as amostras atuais dos sinais medidos e as amostras 'p' ciclos atrasadas, ou seja: $\Delta s(t) = s(t) - s(t-p.T)$, onde 's', 't', 'p' e 'T' representam o valor instantâneo medido, o tempo, uma quantidade de períodos e o período do sinal medido, respectivamente.

Para determinar a direcionalidade de uma falta, calculam-se torques de operação T_{OP} , além de torques para identificação da direcionalidade do curto-circuito: T_{FWD} para a determinação de curtos diretos e T_{REV} para determinação de curtos reversos. O torque de operação é calculado usando:

$$T_{OP}(t) = -\Delta v(t) \cdot \Delta i_z(t), \quad (1)$$

e Δi_z é calculada usando:

$$\Delta i_z(t) = \frac{R_{LT}}{|Z_{LT}|} \cdot \Delta i(t) + \frac{L_{LT}}{|Z_{LT}|} \cdot \frac{d}{dt} \Delta i(t), \quad (2)$$

em que Z_{LT} , R_{LT} e L_{LT} são a impedância, resistência e indutância da LT, respectivamente [2].

Os torques são calculados para seis unidades de medição, conforme reportado em [1] e [5]. O torque calculado conforme o lado direito da Fig. 4 ($-\Delta v_{FASE} \cdot \Delta i_{FASE}$) é aplicado durante um curto período de tempo, T_2 , da ordem de frações de milissegundos após a detecção do distúrbio [5], realizando um reforço no cálculo dos torques e proporcionando uma variação mais rápida de T_{OP} , T_{FWD} e T_{REV} nos primeiros instantes do distúrbio [2]. Os ajustes Z_F e Z_R estão relacionados à detecção de curtos-circuitos diretos e reversos [2], respectivamente. Neste trabalho, adotaram-se os ajustes: $T_2 = 0,8$ ms, $Z_R = 0,5 \cdot |Z_{LT}|$, $Z_F = 0,5 \cdot |Z_{LT}|$ e $p = 2$ [1], assumindo o *Source Impedance Ratio* (SIR) mínimo como sendo $SIR_{MIN} = 0,1$.

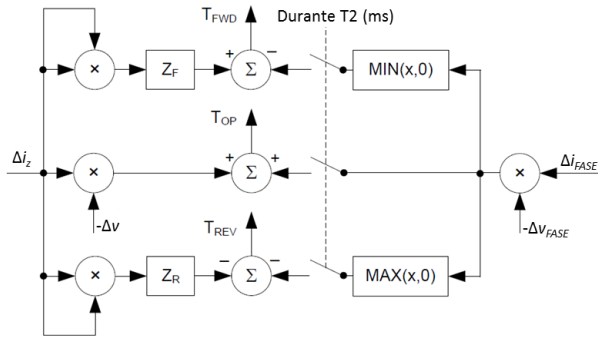


Fig. 4. Diagrama de blocos da função TD32 [5]: Cálculo dos torques.

Após o cálculo dos torques, estes são integrados e utilizados na lógica de operação da função TD32, conforme apresentado na Fig. 5. Neste trabalho, adotou-se uma margem de segurança (MS) de 0,1% do valor esperado para T_{OP} no caso de variação máxima de Δv e os integradores foram implementados como somadores de amostras no tempo dos valores instantâneos dos torques avaliados. Na supervisão por sobrecorrente, considerou-se um i_{pickup} igual a 30% da corrente esperada por fase para uma falta trifásica franca no terminal da LT oposto ao ponto de medição.

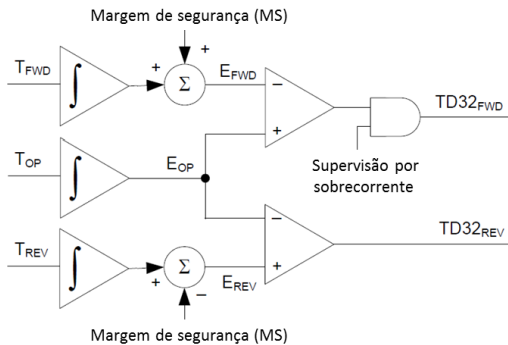


Fig. 5. Diagrama de blocos da função TD32 [5]: Lógica de operação.

C. Função TD21

Assim como a função TD32, a função TD21 foi implementada conforme apresentado em [5]. A função realiza a comparação entre a tensão calculada no ponto de alcance ajustado (tensão de operação V_{21OP}) com a tensão de pré-falta no ponto de alcance ajustado (tensão de restrição V_{21RST}) [5]. Esta última tensão é obtida da composição de amostras atrasadas de uma tensão V_{21R} . Em resumo, para os cálculos, utilizam-se as expressões:

$$V_{21OP}(t) = \Delta v - m_0 |Z_{LT}| \Delta i_z(t), \quad (3)$$

$$V_{21R}(t) = v - m_0 |Z_{LT}| i_z(t). \quad (4)$$

O valor da tensão (4) é uma boa aproximação da tensão real no ponto de alcance ajustado [1]. Nota-se que é necessário o valor de pré-falta da tensão (4) para representar a tensão no ponto de alcance antes da falta ocorrer [1]. Desta forma é realizada a extração de valores com um período de atraso, conforme mencionado anteriormente, tomando amostras anteriores e posteriores em relação a uma amostra central um ciclo atrasada. Estes valores são multiplicados por um valor 'k', por segurança [1]. O valor máximo entre os valores mencionados anteriormente e uma margem de segurança (MS) é então adotado como o valor final da tensão de restrição V_{21RST} [1], conforme ilustrado na Fig. 6.

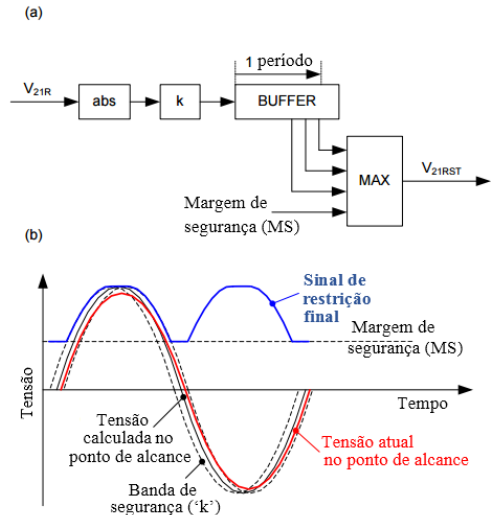


Fig. 6. Cálculo do sinal de restrição da função TD21 [5]: (a) diagrama lógico; e (b) exemplo de operação.

A lógica de operação da TD21 é apresentada na Fig. 7. Caso a unidade de medição esteja envolvida na falta, a tensão no ponto de alcance tenha uma redução (colapso) e $|V_{21OP}| > V_{21RST}$ o integrador é acionado, resultando no sinal integrado E_{21} .

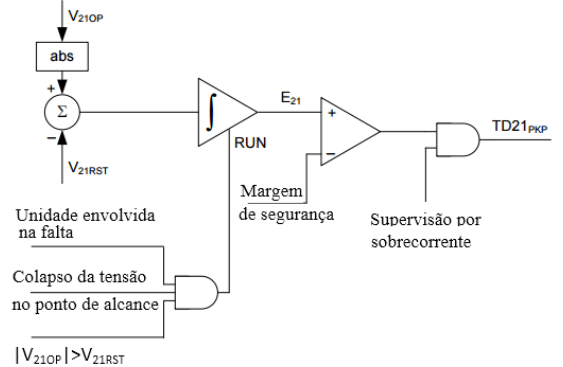


Fig. 7. Diagrama de blocos da função TD21 [5]: Lógica de operação.

Neste trabalho, no cálculo de V_{21RST} , adotou-se uma margem de segurança (valor mínimo) de 50% da tensão do sistema e a margem de segurança utilizada na lógica de operação foi de 0,5% da tensão do sistema. Os integradores foram implementados como somadores de amostras no tempo dos valores instantâneos dos torques avaliados. O valor do alcance utilizado foi de 75% para unidades de fase e terra. Na supervisão por sobrecorrente, considerou-se um i_{pickup} igual a 30% da corrente esperada por fase para uma falta trifásica franca no terminal da LT oposto ao ponto de medição.

III. RESULTADOS E ANÁLISES

A. Sistema Elétrico Avaliado

Para avaliação da influência dos TPC na atuação das funções TD32 e TD21 foi implementado um sistema elétrico fictício de 230 kV no ATPDraw (Fig. 8). Esse sistema é formado por três LT denominadas LT1, LTD e LTE, sendo avaliados os sinais de tensão e corrente da linha LT1. Todas as LT foram modeladas a parâmetros distribuídos constantes na frequência. As linhas LTD e LTE possuem comprimento total de 100 km, cada, enquanto que a linha LT1 possui comprimento total de 200 km. Além disso, foram incluídos dois equivalentes de Thévenin para representação dos sistemas elétricos em torno da LT monitorada.

Os parâmetros adotados na simulação estão apresentados nas Tabelas I e II. O sistema de aquisição de sinais simulado foi implementado conforme apresentado em [5]. Para a análise proposta, foram consideradas faltas monofásicas sólidas do tipo AT na linha LT1, considerando distâncias de falta de 10%, 25%, 50%, 75% e 90% do comprimento da LT. Assim, verificou-se a influência dos TPC 1, 2 e 3 para faltas próximas ou não aos terminais monitorados. Também, sendo δ o ângulo de carregamento da LT, considerou-se $\delta = -10^\circ$ e $\delta = -20^\circ$. Adicionalmente, em cada caso, foi considerado o ângulo de incidência θ da falta com valores de 0° e 90° .



Fig. 8. Sistema fictício modelado.

TABELA I. PARÂMETROS DA LINHA DE 230 kV.

Sequência	Resistência (Ω/km)	Reatância (Ω/km)
Positiva	0,098	0,53
Zero	0,522	1,432

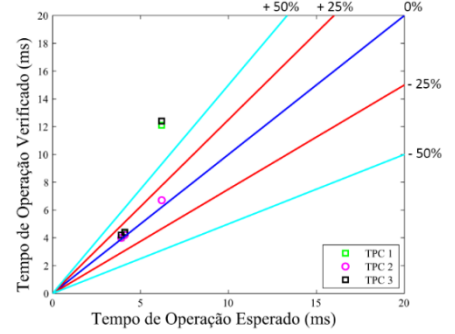
TABELA II. PARÂMETROS DOS EQUIVALENTES DO SISTEMA DE 230 kV.

Dados	Equivalentes	
	Z_S	Z_R
Impedância (Ω) Positiva	$1,96 + j10,6 \Omega$	$1,96 + j10,6 \Omega$
Zero	$10,44 + j28,64 \Omega$	$10,44 + j28,64 \Omega$

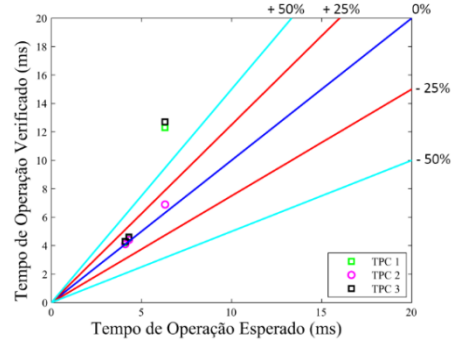
B. Resultados e Análises

Para cada caso foram registrados os tempos de operação das funções TD32 e TD21 considerando as tensões primárias e secundárias. Neste trabalho, os tempos de operação apresentados dizem respeito somente ao tempo necessário para a função identificar a condição de falta, sem considerar os atrasos referentes ao canal de comunicação. Para o sistema modelado, caso fossem utilizadas fibras ópticas para comunicação, um atraso de ≈ 2 ms seria coerente [7].

Os resultados obtidos são apresentados na forma de gráficos de dispersão nas Figs. de 9 a 14. Estes gráficos possibilitam a visualização das diferenças nos tempos de operação das funções TD21 e TD32 quando usadas tensões primárias e secundárias dos TPC 1, 2 e 3, sendo o tempo de operação verificado (usando tensões secundárias) representado no eixo y do gráfico, e o tempo de operação esperado (usando tensões primárias) representado no eixo x do gráfico. Os gráficos apresentam regiões que ilustram situações de diferenças nos tempos de atuação de 0% (operação sem atrasos adicionais), $\pm 25\%$ e $\pm 50\%$.

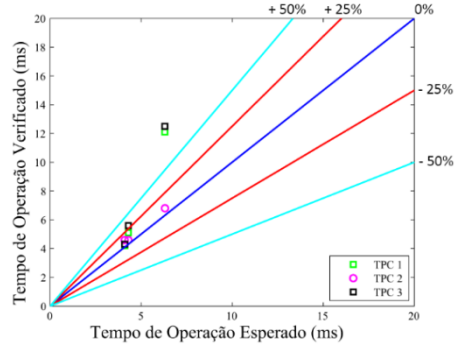


(a)

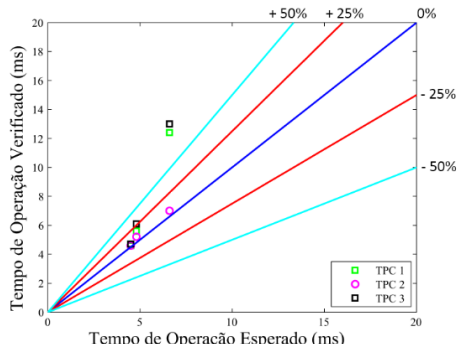


(b)

Fig. 9. Resultados obtidos pela função TD21 para o caso de $\theta = 0^\circ$ no terminal local: (a) $\delta = -10^\circ$; (b) $\delta = -20^\circ$.



(a)



(b)

Fig. 10. Resultados obtidos pela função TD21 para o caso de $\theta = 0^\circ$ no terminal remoto: (a) $\delta = -10^\circ$; (b) $\delta = -20^\circ$.

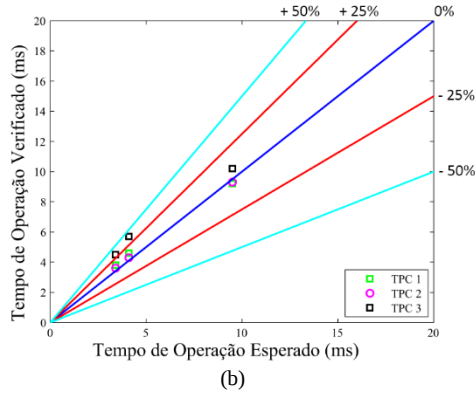
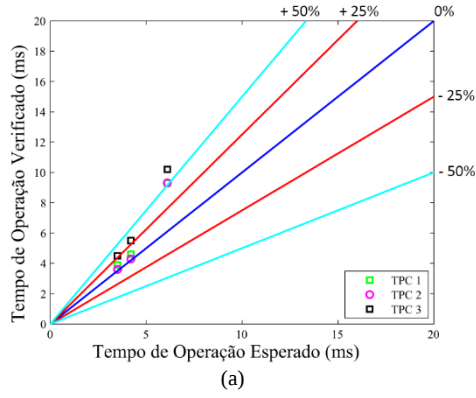


Fig. 11. Resultados obtidos pela função TD21 para o caso de $\theta=90^\circ$ no terminal local: (a) $\delta=-10^\circ$; (b) $\delta=-20^\circ$.

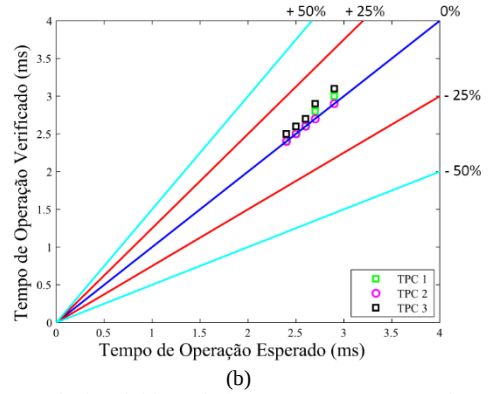
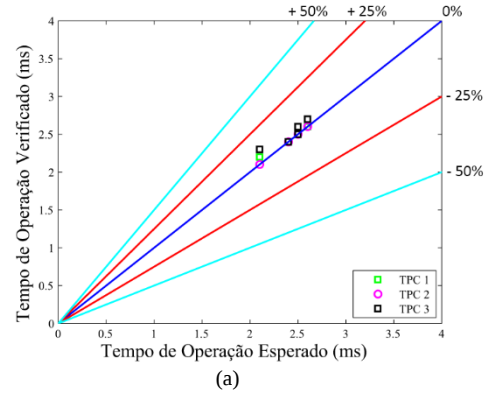


Fig. 13. Resultados obtidos pela função TD32 para o caso de $\theta=90^\circ$ no terminal local: (a) $\delta=-10^\circ$; (b) $\delta=-20^\circ$.

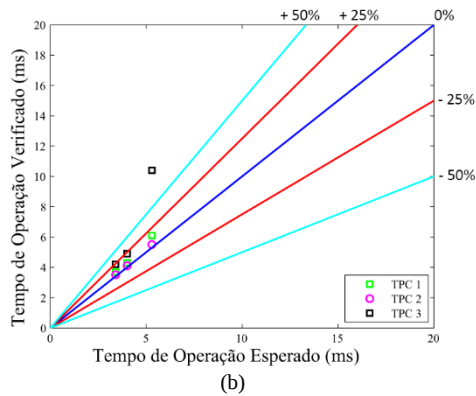
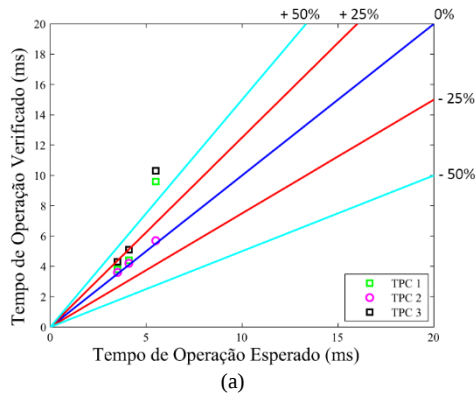


Fig. 12. Resultados obtidos pela função TD21 para o caso de $\theta=90^\circ$ no terminal remoto: (a) $\delta=-10^\circ$; (b) $\delta=-20^\circ$.

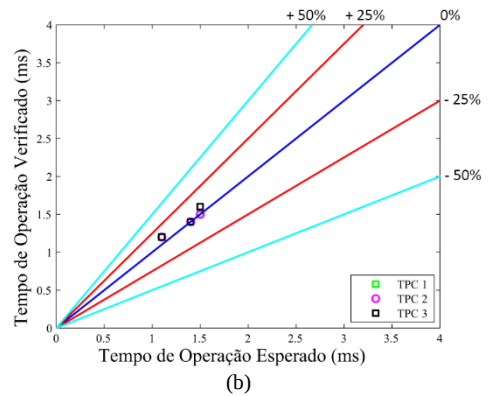
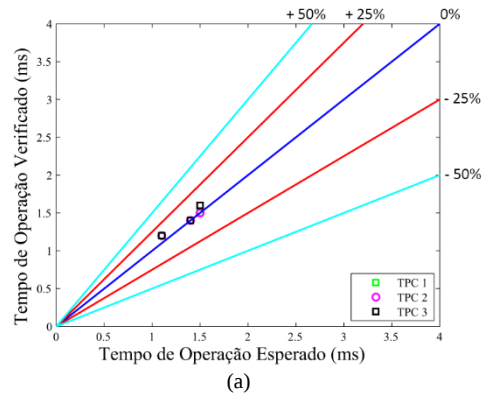


Fig. 14. Resultados obtidos pela função TD32 para o caso de $\theta=90^\circ$ no terminal remoto: (a) $\delta=-10^\circ$; (b) $\delta=-20^\circ$.

Das Figs. 9(a) e 9(b) percebe-se que o carregamento pouco afeta o tempo de atuação e para a maioria dos casos, o que é esperado, visto que grandezas incrementais são idealmente imunes a esta variável. Porém, os TPC inserem pequenos atrasos na função TD21, exceto em um caso para o qual os TPC 1 e 3 apresentam atrasos acima de 50% (≈ 5 ms para os ajustes empregados).

Analisando o terminal remoto, das Figs. 10(a) e 10(b), verifica-se que o carregamento afeta um pouco mais o tempo de operação da função TD21 se comparado ao caso do terminal local. Nota-se também que para esta situação, os atrasos no tempo de atuação são superiores aos verificados para o terminal local. Os resultados para o TPC 3 apresentam atrasos acima de 25% para dois casos.

Para curtos-circuitos com $\theta=90^\circ$ os resultados referentes ao terminal local podem ser visualizados nas Figs. 11(a) e 11(b). Por outro lado, nas Figs. 12(a) e 12(b) são apresentados os resultados para o terminal remoto. Verifica-se que os atrasos na atuação da função TD21 utilizando o TPC 3 são superiores aos encontrados anteriormente, apresentando atrasos da ordem de 25% para a maioria dos casos apresentados. O tempo médio de atuação para os casos simulados com $\theta=90^\circ$ é de aproximadamente 5 ms.

Comparando os resultados encontrados para a função TD21, verifica-se que para $\theta=0^\circ$ a influência dos TPC foi menor do que nos casos onde $\theta=90^\circ$. Dos resultados encontrados, em alguns cenários os atrasos adicionais excederam 25% do tempo de operação esperado, sendo que o TPC 3 apresentou os resultados mais adversos. Ainda assim, embora tenha sido comprovada a influência da resposta transitória dos TPC, pode-se afirmar que a função TD21 não é comprometida, apresentando operações com tempos de atuação ainda inferiores aos tempos esperados para as funções de proteção tradicionais baseadas em fasores.

Considerando a função TD32, as Figs. 13(a) e 13(b) apresentam os resultados para curto-circuitos com $\theta=0^\circ$. Nota-se que o carregamento possui pouca influência nos tempos de atuação, sendo que os tempos de atuação atingem a ordem de 3 ms. Os atrasos adicionais não excederam a ordem dos 25%, sendo que o TPC 3 apresentou os maiores atrasos na atuação. Ainda, das Figs. 14(a) e 14(b), referentes aos resultados para curtos-circuitos com $\theta=90^\circ$, verifica-se que os tempos de atuação são menores que 2 ms e que o carregamento apresenta pequena influência nos resultados obtidos. As mesmas conclusões podem ser estendidas para os demais TPC modelados.

Comparando os resultados obtidos para a função TD32, verifica-se que os tempos de atuação são maiores para $\theta=0^\circ$ do que para $\theta=90^\circ$, conforme o esperado. Assim como para a TD21, para $\theta=0^\circ$, as variações das tensões e correntes incrementais no início do distúrbio são menores, fazendo com que os torques da função TD32 variem mais lentamente [2]. Além disso, embora tenha sido verificada a influência dos TPC sobre os tempos de atuação, pode-se concluir que os atrasos tradicionais não comprometem a referida função, de forma que esta continua apresentando atuações mais rápidas se comparadas com as de funções clássicas baseadas na análise de componentes fundamentais.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho, realizou-se a avaliação da influência de três modelos de TPC de 230 kV sobre as funções de proteção TD32 e TD21 que utilizam grandezas incrementais. Estas funções foram descritas e posteriormente avaliadas por meio de simulações de um sistema elétrico de 230 kV no ATPDraw. Foram simulados curtos-circuitos monofásicos sólidos, com diferentes ângulos de incidência e localizações, considerando diferentes cenários de carregamento.

No total, três modelos de TPC foram considerados, os quais possuem diferentes respostas transitórias. A partir dos resultados apresentados, verifica-se que as respostas em frequência dos TPC não influenciam de forma significativa o desempenho das funções TD32 e TD21, muito embora resultem em diferentes tempos de atuação e, em alguns casos, em pequenos atrasos adicionais nos tempos de atuação das referidas proteções. Para ambas as funções o TPC 3 foi o que

resultou nos maiores atrasos adicionais, enquanto que os TPC 1 e 2 não exerceram influência significativa no desempenho das referidas proteções. Os tempos de atuação da função TD32 não excederam 3 ms, o que é satisfatório diante do objetivo das funções de proteção aplicadas no domínio do tempo. Por outro lado, os tempos de atuação da função TD21 não excederam 13 ms para os piores casos, sendo o tempo médio de atuação de cerca de 5 ms. De fato, os sistemas de proteção convencionais normalmente operam em tempos que variam de um ciclo a um ciclo e meio da frequência fundamental [1], algo entre 16 ms e 24 ms.

Diante do exposto, o pior tempo de operação da função TD21 é inferior ao melhor tempo de atuação esperado das funções convencionais. Se comparado com a função TD32 o tempo médio de atuação é reduzido em pelo menos 5 vezes. Pode-se destacar que para os propósitos de planejamento dos limites de estabilidade é necessário considerar o tempo de atuação mais conservador. Desta forma, conclui-se que as funções de proteção no domínio do tempo cumprem o papel de redução dos tempos de operação se comparadas com as funções baseadas em fasores, mesmo quando consideradas as distorções provenientes da resposta transitória dos TPC.

V. REFERÊNCIAS

- [1] E. O. Schweitzer; B. Kasztenny; A. Guzmán; V. Skendzic; M. Mynam, "Speed of line protection - can we break free of phasor limitations?," Western Protective Relay Conference, USA, oct. 2014.
- [2] F. V. Lopes; K. M. Silva; J. P. G. Ribeiro; R. G. Bainy, "Avaliação da influência dos TPCs sobre o desempenho de funções de proteção baseadas no domínio do tempo", XIII Seminário Técnico de Proteção e Controle, Brasília, Brasil, Outubro 2016.
- [3] R. B. Eastvedt, "The Need for Ultra-Fast Fault Clearing," proceedings of the Third Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 1976.
- [4] K. M. Silva, "Estimação de Fasores Baseada na Transformada Wavelet para Uso na Proteção de Distância de Linhas de Transmissão", Tese de Doutorado, UFCG, 2009.
- [5] E. O. Schweitzer; B. Kasztenny; M. Mynam, "Performance of Time-Domain Line Protection Elements on Real-World Faults," 42nd Annual Western Protective Relay Conference, USA, oct. 2015.
- [6] E. O. Schweitzer; B. Kasztenny; M. Mynam; A. Guzmán; V. Skendzic, "New Time-Domain Line Protection Principles and Implementation," 13th International Conference on Developments in Power System Protection, Edinburgh, United Kingdom, march 2015.
- [7] Carvalho Jr., "Interação Transitória entre Transformadores de Potencial Capacitivos e Linhas de Transmissão: Uma Contribuição para Minimizar Falhas," Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 2008.
- [8] *EMTP Reference Models for Transmission Line Relay Testing*, IEEE Power System Relaying Committee, 2004. [Online]. Available: <http://www.pes-psrc.org>
- [9] H. Ferrer; E. O. Schweitzer, *Modern Solutions for Protection, Control, and Monitoring of Electric Power Systems*. Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2010.