



## **GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC**

### **RELIGAMENTO MONOPOLAR DE LINHAS DE TRANSMISSÃO SEM COMPENSAÇÃO COM SUPERVISÃO DA EXTINÇÃO DO ARCO SECUNDÁRIO**

**KARCIUS MARCELUS COLAÇO DANTAS (1); FELIPE VIGOLVINO LOPES (2); KLEBER MELO E SILVA (3);  
FLAVIO BEZERRA COSTA (4); LETÍCIA ALMEIDA GAMA (3)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE (UFCG) (1);  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (UFPB) (2);  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB) (3);  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE (UFRN) (4)**

#### **RESUMO**

Neste trabalho, um novo método para manobras de religamento monopolar adaptativo de linhas de transmissão sem compensação reativa, o qual é capaz de detectar a extinção do arco secundário, é apresentado e avaliado por meio de registros oscilográficos de casos reais de religamento monopolar no Sistema Interligado Nacional. O método é baseado em análise fasorial e foi implementado e testado fazendo uso de uma mala de testes e um relé disponível comercialmente. Os resultados obtidos indicam a eficácia e confiabilidade do método, bem como a viabilidade de sua pronta implementação em campo, sem a necessidade de equipamentos adicionais.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Religamento Monopolar; Linhas de Transmissão; Extinção do Arco Secundário; Implementação em Relé Comercial; Casos Reais do SIN.

#### **1.0 INTRODUÇÃO**

Sistemas elétricos de potência como o Sistema Interligado Nacional (SIN) estão sujeitos a eventos inesperados, a exemplo de faltas em linhas de transmissão, que podem causar interrupção no suprimento de energia e degradar a eficiência e qualidade dos serviços prestados pelas empresas do setor. Tais eventos podem ocasionar ainda grandes impactos econômicos para o país e por esta razão, a proteção do sistema elétrico e em particular das linhas de transmissão, passa a ter uma importância cada vez maior, a fim de garantir a integridade dos equipamentos da rede, bem como o fornecimento contínuo e econômico da energia elétrica. Nesse contexto, destaca-se o Religamento Monopolar Automático (RMA) de Linhas de Transmissão, ou como é mais conhecido: SPAR (*Single Phase Auto-Reclosing*) em inglês. Este tema tem despertado interesse por parte de pesquisadores e empresas do setor elétrico há décadas. A principal razão para isto é que mais de 80% das faltas que ocorrem em sistemas de potência são faltas monofásicas e a maioria delas são temporárias [1].

Alguns dos principais ganhos proporcionados pela utilização de sistemas de proteção com chaveamento monopolar ocorre pela possibilidade de se eliminar o defeito isolando apenas a fase sob falta, mantendo parte do fornecimento de energia pelas fases sãs. Isto pode evitar a perda de estabilidade e sincronismo do sistema e um consequente *blackout*, com enormes prejuízos estruturais e financeiros para o país.

As técnicas convencionais de religamento monopolar em linhas de transmissão consistem basicamente em isolar a fase sob falta, abrindo os respectivos polos dos disjuntores da linha, e religar esta fase após um período pré-fixado, normalmente denominado de tempo morto [2]. Nestes casos, há a possibilidade do religamento ocorrer sob falta, o que pode levar a uma manobra sem sucesso e causar sérios danos ao sistema. A fim de evitar este problema, métodos para detectar a extinção do arco secundário foram propostos e surgiu o conceito de Religamento Monopolar Automático Adaptativo (RMAA), ou como é mais conhecido: ASPAR (*Adaptive Single-Phase Auto-Reclosing*) em inglês [3]. Além de bloquear o religamento do disjuntor caso a falta persista na linha após o tempo morto, o RMAA também permite adaptar o tempo de recomposição do sistema caso a falta tenha sido extinta, promovendo um religamento mais rápido e proporcionando uma maior segurança na continuidade do fornecimento da energia.

Apesar do exposto, estas técnicas ainda não são amplamente empregadas no setor elétrico. Neste trabalho, pretende-se demonstrar a confiabilidade e eficácia de um esquema de religamento monopolar adaptativo a partir da análise de casos reais advindos do SIN. A partir dessas análises, serão evidenciados os benefícios que esta técnica pode propiciar ao sistema e, conseqüentemente, aos consumidores e à sociedade como um todo. Para tanto, aborda-se um método baseado em análise fasorial para religamento monopolar adaptativo de LT sem compensação reativa, o qual inclui a função de monitoramento do arco secundário [4]. As tensões do lado da linha em apenas um dos terminais são analisadas no domínio modal para identificar a presença ou extinção de faltas na linha. O método requer apenas operações aritméticas simples com fasores de tensão, sendo mais simples do que os métodos existentes na literatura e no mercado e pode ser facilmente implementado em IED (*Intelligent Electronic Devices*) existentes sem a necessidade de equipamentos adicionais.

A implementação do método foi feita diretamente em um relé disponível comercialmente, através da interface de programação de lógicas de proteção disponível no dispositivo, capaz de executar rotinas definidas pelo usuário, com acesso às variáveis digitais e fasores estimados pelo próprio relé. Além disto, esta interface compartilha do mesmo intervalo de processamento das funções de proteção nativas do relé. Registros oscilográficos de casos reais de religamento monopolar no SIN foram reproduzidos automaticamente em uma mala de testes e analisados mediante os eventos gerados pelo relé. Os resultados obtidos indicam a eficácia do método em todos os casos analisados, bem como a viabilidade de sua implementação em dispositivos reais, proporcionando uma melhora significativa do desempenho do sistema como um todo.

## 2.0 ESTADO DA ARTE

Vários métodos têm sido propostos para aprimorar a confiabilidade e o desempenho do religamento monopolar automático de linhas de transmissão, especialmente o religamento adaptativo, objetivando identificar a extinção do defeito antes de efetivar a manobra de religamento [5]. Alguns destes métodos são baseados no comportamento e nas características intrínsecas ao sinal de tensão na fase sob falta, durante o tempo morto [6]. Outros, se baseiam no conteúdo harmônico da tensão na fase sob falta, fazendo uso principalmente da transformada rápida ou discreta de Fourier para determinar a natureza do defeito (temporário ou permanente), bem como, para determinar a extinção do arco secundário [7, 8].

Em [9–11] métodos para religamento monopolar adaptativo de linhas com compensação shunt são propostos e diferentes técnicas e grandezas são usadas, a exemplo das correntes nos reatores shunt, conteúdo harmônico, tensão no reator de neutro, potência reativa na fase sob falta etc.

Métodos para religamento monopolar adaptativo mais sofisticados, baseados em redes neurais artificiais, neurônio linear adaptativo e transformada *wavelet* também foram propostos [12-14]. No entanto, aqueles métodos podem apresentar dificuldades para implementações práticas em campo, devido às complexidades inerentes, além de não ser trivial a generalização de suas aplicações.

Outra categoria de métodos para religamento monopolar é baseada em análise fasorial. Em [15] o comportamento do fasor da tensão na fase sob falta é analisado. Porém, atrasos médios de 220 ms ou mais são esperados na detecção da extinção do arco secundário. Em [16], a magnitude e a fase do fasor de tensão na fase sob falta são usadas para identificar a natureza da falta e detectar o fim do arco com um atraso entre 32 e 91 ms. Métodos para religamento monopolar adaptativo baseados em sincrofasores também foram propostos [17]. No entanto, necessitam das tensões e/ou correntes em ambos os terminais da linha de transmissão além de canais de comunicação.

Em linhas de transmissão que não possuem equipamentos específicos para mitigar o arco secundário, pode-se empregar um esquema híbrido, que consiste inicialmente em isolar a fase sob falta, abrir as fases sãs após 50 a 60 ciclos e efetivar o religamento trifásico na sequência [18]. Um esquema híbrido aprimorado para aplicação de religamento monopolar em linhas não compensadas foi proposto em [19], o qual fez uso do método apresentado em [20] para determinar a extinção do arco, devido a sua simplicidade de implementação em dispositivos de proteção disponíveis em campo. Naquele esquema, a detecção da extinção do arco secundário é adicionada ao esquema convencional e as fases sãs só abrem caso o defeito não tenha sido extinto durante o tempo morto da linha. Porém, um atraso de 5 ciclos ou mais na detecção da extinção do defeito foi observado.

Observa-se que os métodos existentes para religamento monopolar automático de linhas de transmissão podem ser divididos em diferentes categorias, a depender da técnica utilizada, além da aplicação em linhas com ou sem compensação. Neste trabalho, aborda-se um método baseado em análise fasorial para religamento monopolar adaptativo de LT sem compensação reativa, o qual inclui a função de monitoramento do arco secundário [4]. Ao contrário de outros métodos, a solução aqui abordada é capaz de identificar a extinção e a reignição do arco secundário de forma independente do carregamento do sistema, dos parâmetros da linha, do comprimento da linha, do esquema de transposição, do local da falta e da resistência de falta, fazendo uso de tensões em apenas um dos terminais da LT e sendo bastante promissora para aplicações em campo. Além disso, este método é mais rápido

para detectar a extinção ou reiginição do arco secundário, quando comparado com outros métodos baseados em fasores ou mesmo outros métodos mais sofisticados e complexos.

### 3.0 MÉTODO PARA RELIGAMENTO MONOPOLAR AUTOMÁTICO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

#### 3.1 Análise Fasorial no Domínio Modal

O método abordado neste trabalho baseia-se na análise fasorial das tensões do lado da linha no domínio modal para monitorar a extinção do arco secundário e propiciar uma manobra de religamento mais segura. Para tanto, a matriz de Clarke é empregada, conforme Equação 1.

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_0 \\ \hat{V}_\alpha \\ \hat{V}_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}_a \\ \hat{V}_b \\ \hat{V}_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

A partir desta equação, tem-se:

$$\hat{V}_0 = \frac{1}{3} (\hat{V}_a + \hat{V}_b + \hat{V}_c) \quad (2)$$

e

$$\hat{V}_\alpha = \frac{1}{3} (2\hat{V}_a - \hat{V}_b - \hat{V}_c) \quad (3)$$

Considerando a ocorrência de uma falta monofásica envolvendo a fase A, seguida da abertura monofásica da linha de transmissão, e que enquanto o arco secundário persistir na linha:

$$|\hat{V}_a| \ll |\hat{V}_b + \hat{V}_c| \quad (4)$$

pode-se demonstrar que nessa situação:

$$\frac{\hat{V}_0}{-\hat{V}_\alpha} \approx 1 \quad (5)$$

Por outro lado, uma vez que o arco secundário é extinto, a tensão na fase aberta pode ser dada pela Equação 6 [20].

$$\hat{V}_a = K (\hat{V}_b + \hat{V}_c) \quad (6)$$

Em que,

$$K = \frac{C_m}{C_s + 2C_m} \quad (7)$$

$C_m$  é a capacitância entre as fases da linha de transmissão e  $C_s$  é a capacitância entre cada fase e a terra, considerando uma linha perfeitamente transposta. Substituindo a Equação 6 nas Equações 2 e 3:

$$\hat{V}_0 = \frac{1}{3} [K (\hat{V}_b + \hat{V}_c) + (\hat{V}_b + \hat{V}_c)] \quad (8)$$

$$\hat{V}_\alpha = \frac{1}{3} [2K (\hat{V}_b + \hat{V}_c) - (\hat{V}_b + \hat{V}_c)] \quad (9)$$

Com base nas Equações 8 e 9, a seguinte igualdade é válida após a extinção do arco secundário:

$$\frac{\hat{V}_0}{-\hat{V}_\alpha} = \frac{1 + K}{1 - 2K} \quad (10)$$

Por simplicidade, define-se aqui o valor absoluto da razão  $(\hat{V}_0/-\hat{V}_\alpha)$  como sendo  $R$ , que será sempre maior do que 1 após a extinção do arco secundário, uma vez que  $K$  será sempre menor que 0,5 (conforme Equação 7).

#### 3.2 Monitoramento do Arco Secundário e Religamento Monopolar

O método aqui abordado para detectar a extinção do arco secundário e realizar o religamento monopolar automático é baseado em  $R$ , que se configura como uma relação simples obtida no domínio modal. De acordo com a Equação 5, se  $R$  possui um valor próximo a 1, então a falta persiste na linha. Por outro lado, com base na Equação 10, se  $R$  é maior do que 1, então a falta pode ser considerada extinta. No entanto, estas premissas são válidas apenas para o caso ideal em que a Equação 4 é satisfeita. Na prática, a amplitude da tensão na fase sob falta pode variar a depender da resistência de falta, do local da ocorrência da falta etc. Desta forma, ao invés de verificar se a razão  $R$  é maior ou igual a 1, compara-se  $R$  com um limiar  $\lambda$  que indicará de forma segura a presença ou a extinção do arco secundário.

A fim de estabelecer um valor apropriado para  $\lambda$ , valores práticos para  $R$ , após a extinção do arco secundário, foram obtidos por meio de uma análise detalhada dos parâmetros de diferentes linhas de transmissão do SIN. No total, 219 linhas de transmissão de 230 kV e 500 kV foram analisadas e o valor mínimo observado para  $R$  foi 1,343. Por conseguinte,  $\lambda$  foi definido de forma conservativa como sendo 95% desse valor, ou seja,  $\lambda = 1,28$ .

O fluxograma da Figura 1 sintetiza o funcionamento do método aqui abordado. Após a ocorrência de uma falta monofásica e a abertura monopolar da LT, com a consequente alteração no estado do disjuntor (DJ), a matriz de Clarke é aplicada aos fasores de tensão de cada fase da linha com o objetivo de se obter  $\hat{V}_0$  e  $\hat{V}_\alpha$ . Em seguida,  $R$  é determinado e comparado com  $\lambda$ . Os passos seguintes são monitorados com base nas seguintes *word-bits*:

- RLAMB = 1 quando  $R > \lambda$ , indicando que o arco secundário foi extinto;
- RLAMB = 0 quando  $R \leq \lambda$ , indicando que o arco secundário persiste;
- TDEAD = 1 apenas quando o tempo morto ( $T_{morto}$ ) é decorrido;
- TDEION = 1 quando o tempo decorrido após a detecção da extinção do arco secundário é maior que o tempo para deionização do arco ( $T_d$ );
- ESPAR = 1 habilita a manobra de religamento;
- BSPAR = 1 bloqueia a manobra de religamento.

Este fluxograma foi elaborado para contemplar o esquema híbrido aprimorado apresentado em [19]. No entanto, ele pode ser facilmente adaptado para uma manobra de religamento monopolar automática adaptativa. Para tanto, o bloco destacado em amarelo deve ser omitido e o religamento monopolar deve ser habilitado (ESPAR = 1) assim que TDEION = 1. Para todos os casos, todas as *word-bits* tem seus valores iniciais iguais a zero.

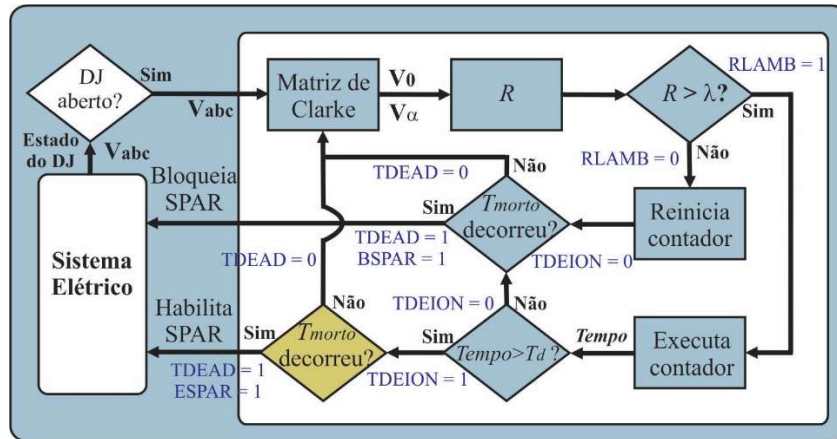


FIGURA 1 – Fluxograma do método para monitoramento do arco secundário e religamento monopolar automático.

#### 4.0 IMPLEMENTAÇÃO EM RELÉ COMERCIAL

De forma a avaliar o desempenho do método apresentado para religamento monopolar de linhas de transmissão, as lógicas e procedimentos apresentados no fluxograma da Figura 1 foram implementadas no relé comercial SEL-411L. Desta maneira, através do acesso direto e utilização das variáveis digitais e dos fasores de tensão estimados pelo relé, o método pôde ser executado no mesmo intervalo de processamento das funções de proteção nativas do relé, resultando em tempos de atuação realistas.

A escolha do relé SEL-411L para simulação se deu principalmente por este possuir ambiente de programação de acesso livre ao usuário, chamado *Free-Form SELogic Control Equation Programming* [21]. Neste ambiente, por meio do acesso às variáveis analógicas e digitais do relé, e com o uso de elementos de controle de equações disponíveis no ambiente programável, pode-se customizar a operação do relé e criar funções de proteção adicionais executadas considerando o mesmo intervalo de processamento do dispositivo.

Conforme exposto na Figura 2, registros oscilográficos de casos reais de religamento monopolar no SIN, representados no formato COMTRADE, são carregados e propriamente configurados na mala de teste Doble F6150sv. Essa mala reproduz os casos avaliados a partir da injeção de sinais de corrente e tensão ao relé fasorial utilizado. Por fim, os resultados são obtidos e avaliados mediante análise oscilográfica dos eventos gerados pelo relé. Vale ressaltar que para os casos avaliados foi necessário o uso de somente uma mala de testes, a qual alimenta um único relé conectado a um dos terminais da linha de transmissão em análise.

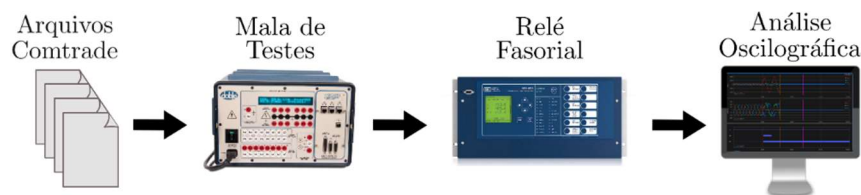


FIGURA 2 – Procedimentos de teste.

## 5.0 AVALIAÇÃO COM CASOS REAIS ADVINDOS DO SIN

O método aqui abordado para religamento monopolar de linhas de transmissão foi avaliado por meio de registros oscilográficos reais, provenientes do SIN, os quais correspondem a ocorrência de faltas monofásicas em linhas de transmissão de 230 kV e 500 kV, seguidas de abertura monopolar e tentativa de religamento automático das respectivas linhas. Algumas das manobras de religamento foram efetivadas com sucesso e outras não. Ressalta-se que as manobras sem sucesso normalmente ocorrem quando a falta ainda está presente na linha e poderiam ter sido evitadas a partir da aplicação do método aqui apresentado.

Diversos registros oscilográficos reais foram avaliados e alguns destes são apresentados a seguir. Por questões de simplicidade, apenas o sinal de tensão da fase sob falta será apresentado para cada caso. Em complemento, também são apresentados os canais digitais provenientes do relé, os quais correspondem às *word-bits* descritas no fluxograma da Figura 1, bem como, os sinais de controle que correspondem ao limiar  $\lambda$  e à razão  $R$ .

Nas Figuras 3, 4 e 5, são apresentados casos de faltas monofásicas temporárias em linhas de 230 kV e 500 kV. A falta ocorre no instante  $t_1$  e no instante  $t_2$  a fase sob falta na linha de transmissão é aberta. Após  $t_2$ , observa-se que  $R$  se aproxima do valor unitário em todos os casos, indicando a presença do arco secundário. No instante  $t_3$  tem-se a extinção do arco, o que acarreta o crescimento no valor de  $R$ , o qual se torna maior que  $\lambda$ . Neste instante,  $RLAMB = 1$ , indicando a extinção da falta. A partir de  $t_3$ , se inicia a contagem para o tempo de deionização ( $T_d$ ), o qual pode ser definido de acordo com a estratégia da empresa. Decorrido  $T_d$ , considerado aqui equivalente a dois ciclos da frequência fundamental, observa-se que  $TDEION = 1$ , indicando que a manobra de religamento monopolar pode ser realizada com segurança. Em seguida, apenas para fins de ilustração do método, foi considerado que o tempo morto da linha é decorrido no instante  $t_4$ , onde observa-se que  $TDEAD = 1$ . Assim, uma vez que o método indica que o arco foi extinto, que o tempo considerado para deionização foi decorrido, assim como o tempo morto da linha, a manobra de religamento automática é habilitada ( $ESPAR = 1$ ). Nestes casos, a manobra real de religamento somente foi efetivada em  $t_5$ . Contudo, a aplicação do método aqui apresentado possibilitaria uma redução significativa e segura no tempo de recomposição do sistema, considerando que o arco foi extinto em  $t_3$ . É importante ressaltar que durante o período de regime permanente, com o sistema íntegro,  $\hat{V}_0$  é aproximadamente zero, implicando em  $R \approx 0$ .

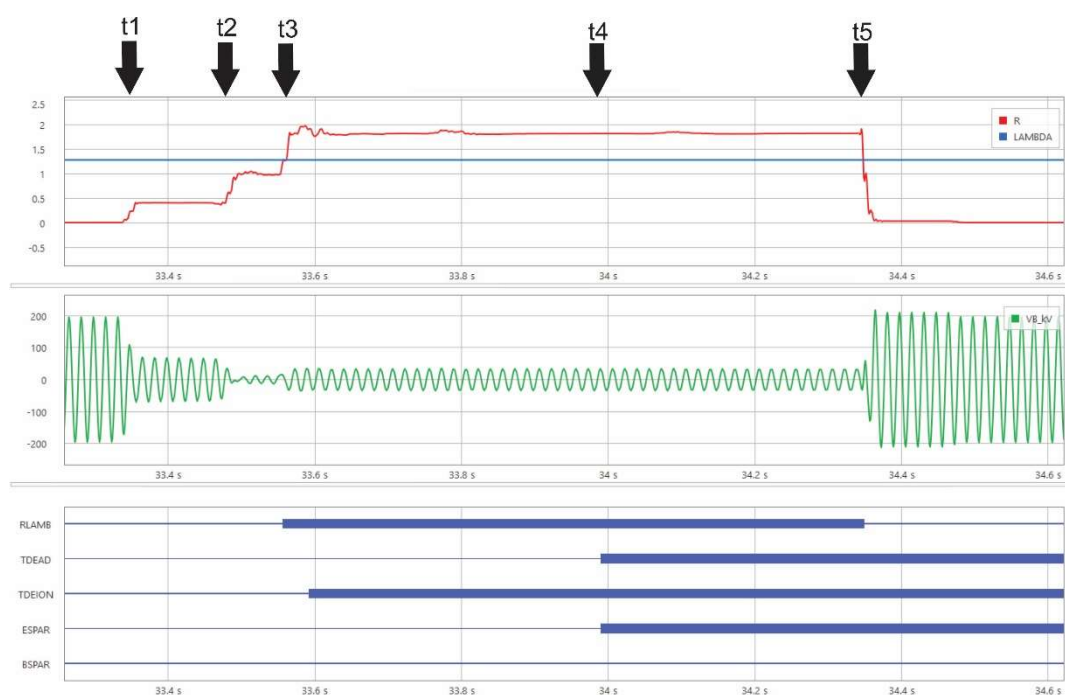


FIGURA 3 – Falta monofásica temporária, com rápida extinção do arco secundário, seguida por uma manobra de religamento automática bem-sucedida em uma linha de 230 kV do SIN

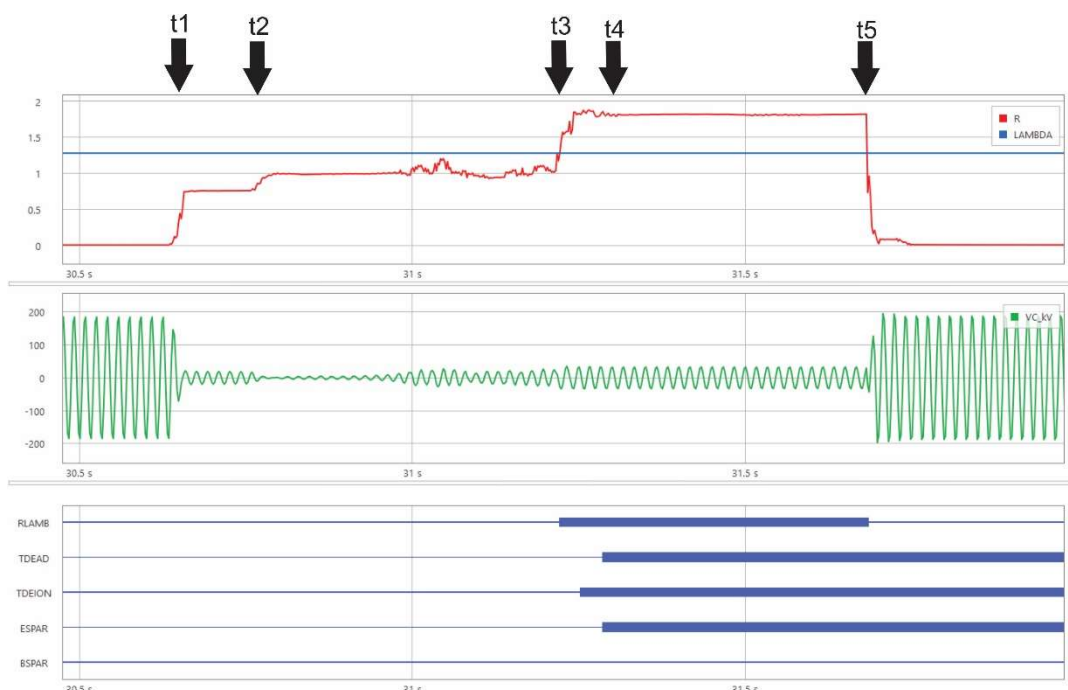


FIGURA 4 – Falta monofásica temporária, com arco secundário apresentando uma maior duração, seguida por uma manobra de religamento automática bem-sucedida em uma linha de 230 kV do SIN

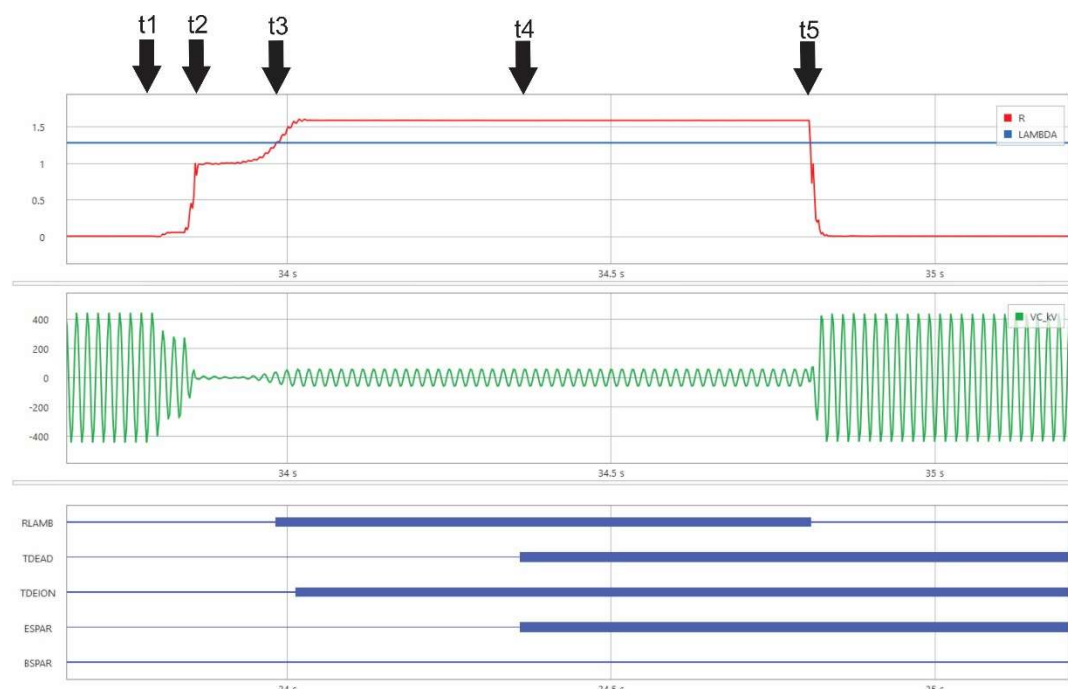


FIGURA 5 – Falta monofásica temporária, com rápida extinção do arco secundário, seguida por uma manobra de religamento automática bem-sucedida em uma linha de 500 kV do SIN

Na Figura 6 tem-se um exemplo de uma falta monofásica que persiste na linha de transmissão, acarretando uma manobra de religamento sem sucesso. Para este caso, a falta ocorre em t1 e em t2 a fase sob falta é aberta. Após t2, observa-se que durante todo o tempo morto da linha,  $R \approx 1$ , indicando a presença da falta ao longo do registro (RLAMB = 0). Assim como nos casos anteriores, apenas para fins de ilustração, foi considerado que o tempo morto

decorreu em  $t_3$ , onde observa-se  $TDEAD = 1$ . Contudo, uma vez que o método indica a presença da falta com  $RLAMB = 0$ , a manobra de religamento é bloqueada ( $BSPAR = 1$ ) e um sinal de *trip* para abertura das demais fases desta linha de transmissão seria enviado. Este seria um caso típico em que a aplicação do método apresentado evitaria uma manobra de religamento mal sucedida e eventuais consequências para o sistema e seus equipamentos.

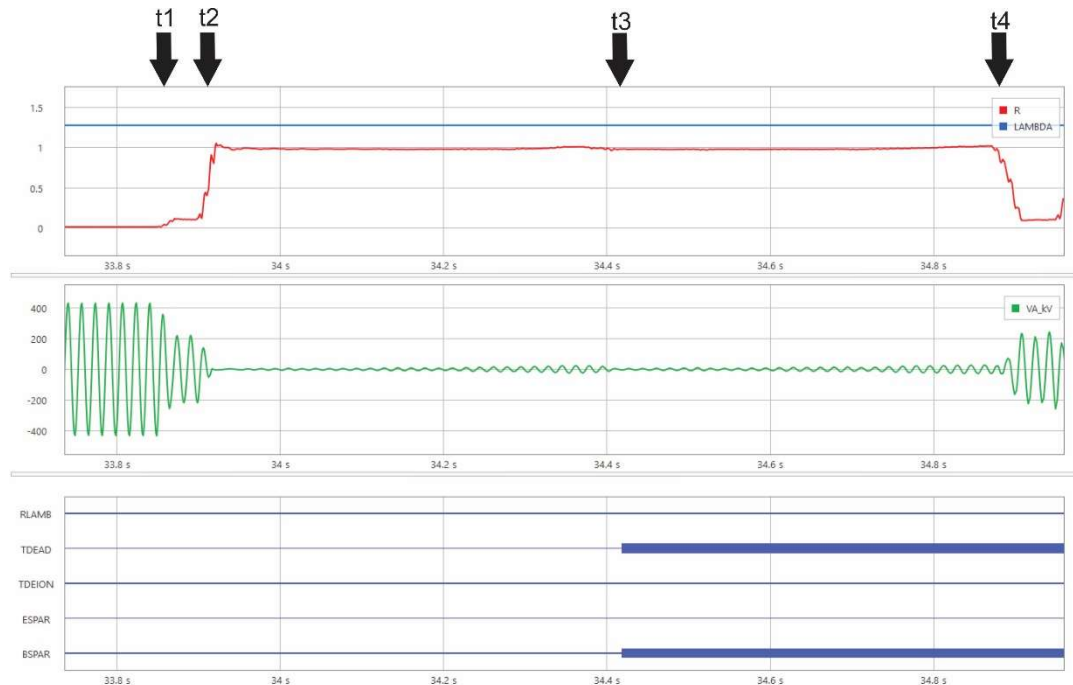


FIGURA 6 – Falta monofásica persistente, seguida por uma manobra de religamento automática mal sucedida em uma linha de 500 kV do SIN

## 5.0 CONCLUSÕES

Neste trabalho, abordou-se a aplicação prática de um método para religamento monopolar de linhas de transmissão, com monitoramento da extinção do arco secundário, fazendo uso de registros oscilográficos reais de faltas monofásicas seguidas de abertura monopolar das respectivas linhas do SIN. Os resultados obtidos revelam a eficiência e robustez do método, o qual pode ser facilmente e prontamente implementado em IED disponíveis comercialmente, sem a necessidade de equipamentos adicionais.

Com base no exposto, espera-se que os benefícios proporcionados por manobras de religamento monopolar automáticas sejam mais bem explorados no SIN. Além das vantagens intrínsecas às manobras de RMA/SPAR, a partir da utilização do método abordado, foi possível constatar outras vantagens. Por exemplo, após a extinção do arco secundário ser detectada, é possível religar a linha e minimizar o tempo morto em que esta fica fora de operação, reduzindo o tempo de recomposição do sistema e aumentando a sua confiabilidade e disponibilidade. Além disso, ao monitorar a presença do arco secundário após a abertura monopolar da linha, evita-se que o religamento ocorra sob falta, o que acarretaria uma manobra sem sucesso que poderia causar grande impacto ao sistema e eventuais danos aos seus equipamentos.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DANTAS, K. M. C.; NEVES, W. L. A.; FERNANDES, D. An approach for controlled reclosing of shunt-compensated transmission lines. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 29, n. 3, p. 1203–1211, 2014.
- [2] FAKHERI, A. J. et al. Single phase switching tests on the aep 765 kv system-extinction time for large secondary arc currents. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-102, n. 8, p. 2775–2783, 1983.
- [3] WEBSPER, S. P. et al. An investigation into breaker reclosure strategy for adaptive single pole autoreclosing. IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, v. 142, n. 6, p. 601–607, 1995.



- [4] DANTAS, K. M., LOPES, F. V., SILVA, K. M., COSTA F. B. e RIBEIRO, N., "Phasor-Based Single-Phase Auto-Reclosing Scheme for Non-Compensated Transmission Lines," in IEEE Transactions on Power Delivery, doi: 10.1109/TPWRD.2021.3055853.
- [5] KHAN, T. B. W. A.; JIA, K. A review of single phase adaptive auto-reclosing schemes for ehv transmission lines. *Prot Control Mod Power Syst*, v. 18, n. 4, 2019.
- [6] AHN, S. P.; AGGARWAL, R. K.; JOHNS, A. T. An alternative approach to adaptive single-pole auto reclosing in high-voltage transmission systems based on variable dead time control. *IEEE Power Engineering Review*, v. 21, n. 4, p. 70–70, 2001.
- [7] RADOJEVIC, Z. M.; SHIN, J. New digital algorithm for adaptive reclosing based on the calculation of the faulted phase voltage total harmonic distortion factor. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 22, n. 1, p. 37–41, 2007.
- [8] DIAS, O.; TAVARES, M. C. Comparison between traditional single-phase auto reclosing and adaptive technique based on harmonic content measurement. *IET Generation, Transmission Distribution*, v. 11, n. 4, p. 905–914, 2017.
- [9] LIN, D. et al. An adaptive reclosure scheme for parallel transmission lines with shunt reactors. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 30, n. 6, p. 2581–2589, 2015.
- [10] LUO, X. et al. Adaptive single-phase reclosure scheme for transmission lines with shunt reactors based on current inner product. *IET Generation, Transmission Distribution*, v. 11, n. 7, p. 1770–1776, 2017.
- [11] XIE, X.; HUANG, C. A novel adaptive auto-reclosing scheme for transmission lines with shunt reactors. *Electric Power Systems Research*, v. 171, p. 47 – 53, 2019. ISSN 0378-7796.
- [12] ZAHLAY, F. D.; RAMA RAO, K. S. Neuro-prony and taguchi's methodology-based adaptive autoreclosure scheme for electric transmission systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 27, n. 2, p. 575–582, 2012.
- [13] JANNATI, M.; NAZARI, M. Y. Improving the stability of power transmission lines based on an adaptive single pole auto-reclosure using a two-step strategy. *IET Generation, Transmission Distribution*, v. 14, n. 5, p. 873–882, 2020.
- [14] SANAYE-PASAND, M.; KADIVAR, A. Design of an online adaptive auto-reclose algorithm for hv transmission lines. In: 2006 IEEE Power India Conference. 2006.
- [15] ZADEH, M. R. D. et al. An adaptive hv transmission lines reclosing based on voltage pattern in the complex plane. In: 2012 65th Annual Conference for Protective Relay Engineers., 2012. p. 85–95.
- [16] ZHALEFAR, F.; DADASH ZADEH, M. R.; SIDHU, T. S. A high-speed adaptive single-phase reclosing technique based on local voltage phasors. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 32, n. 3, p. 1203–1211, 2017.
- [17] GAJARE, S.; PRADHAN, A. K. Synchrophasor-based intelligent autoreclosing scheme for series compensated transmission lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 32, n. 5, p. 2255–2262, 2017.
- [18] Esztergalyos, J. et al. Single phase tripping and auto reclosing of transmission lines-ieee committee report. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 7, n. 1, p. 182–192, 1992.
- [19] NAGPAL, M. et al. Field verification of secondary arc extinction logic. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 31, n. 4, p. 1864–1872, 2016.
- [20] GUZMAN, A. et al. Transmission line protection system for increasing power system requirements. In: *Modern Electric Power Systems*. [S.l.: s.n.], 2010.
- [21] SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, SEL-411L Advanced Line Differential Protection, Automation, and Control System and SEL-400 Series Relays, Pullman, Washington, 2018.





## DADOS BIOGRÁFICOS



KARCIUS MARCELUS COLAÇO DANTAS possui graduação (2005), mestrado (2007) e doutorado (2012) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente é Professor Associado desta instituição, atuando no Departamento de Engenharia Elétrica. Os principais temas de interesse são: Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência, Qualidade da Energia Elétrica, Proteção de Sistemas Elétricos, Análise de Distúrbios em Sistemas Elétricos, Localização de Faltas em Linhas de Transmissão e Inteligência Artificial aplicada a Sistemas Elétricos.



FELIPE VIGOLVINO LOPES possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), concluídos em 2009, 2011 e 2014, respectivamente, e pós-doutorado pela UFCG em 2018. É *Senior Member* do IEEE e membro do Comitê de Estudos B5 do Cigré, onde atua como coordenador do grupo espelho Brasil B5.55 que trata sobre tecnologias baseadas na teoria de ondas viajantes. Trabalhou como professor da Universidade de Brasília (UnB) de 2014 a 2021 em níveis de graduação e pós-graduação e, em 2021, assumiu o cargo de professor do quadro permanente de docentes do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Tem experiência nas áreas de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, Localização de Faltas, e Transitórios Eletromagnéticos.



KLEBER MELO E SILVA recebeu os títulos de B.Sc., M.Sc. e D.Sc. em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em 2004, 2005 e 2009, respectivamente. Atualmente é Professor no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília (UnB), editor associado da *IEEE Transactions on Power Delivery*, membro do Comitê de Estudos B5 (Proteção e Automação) do Cigré e membro do Conselho de Assessoramento Científico (CAC) da FAPDF. De 2019 a 2020 foi professor visitante na Texas A&M University, Texas/US. Tem focado suas pesquisas principalmente nas áreas de proteção de sistemas elétricos de potência, localização de faltas e Transitórios Eletromagnéticos.



FLAVIO BEZERRA COSTA earned his B.Sc., M.Sc., and Ph.D. degrees in Electrical Engineering from Federal University of Campina Grande (UFCG), Brazil, in 2005, 2006, and 2010, respectively. Currently, he is a Professor of Electrical Engineering at the School of Science and Technology (ECT) at the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN), Brazil. In the past 10 years, he and his students have published more than 30 journal and 100 conference papers. His research interests include power system protection, real-time analysis of power quality disturbances and faults, renewable energy systems, as well as smart-grid solutions.



LETÍCIA ALMEIDA GAMA recebeu o título de B.Sc. no domínio da Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) em 2014 e M.Sc. no domínio da Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (UnB) em 2017. Atualmente é doutoranda em Engenharia Elétrica com foco em Proteção de Sistemas Elétricos pela UnB. Possui experiência na área de Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, Transitórios Eletromagnéticos e Testes em Relés de Proteção Microprocessados

