

CARACTERÍSTICAS DE FALTAS DE ALTA IMPEDÂNCIA EM REDES AÉREAS DE DISTRIBUIÇÃO EM GALHOS DE IPÊ ROXO

André P. Leão*. Maria Emília L. Tostes *. João Paulo A.Vieira**. Ubiratan H. Bezerra*.
 Marcelo C. Santos***. Ádrea L. de Sousa **. Wesley R. Heringer**.
 Murillo A. M. Cordeiro**. Juan Carlos H. Paye **. Lucas de Paula A. Pinheiro***.

*Centro de Eficiência Energética da Amazônia - CEAMAZON, Universidade Federal do Pará - UFPA, Pará, Brasil (e-mail: leaoap2017@gmail.com, tostes@ufpa.br, bira@ufpa.br);

** Grupo de Sistemas de Energia e Inovação - GSEI, Universidade Federal do Pará - UFPA, Pará, Brasil (e-mail: jpavieira@ufpa.br, adrealsousa@gmail.com, riderheringer@gmail.com, murilloaugustocordeiro@gmail.com, juancarloshuaquisaca@gmail.com);

*** Equatorial Energia, Pará, Brasil (e-mail: marcelo.costa@equatorialenergia.com.br, lucas.pinheiro@equatorialenergia.com.br).

Abstract— The low magnitude of current produced by a high impedance fault (HIF) is one of its main characteristics, making its detection and location difficult for equipment currently used to protect electrical power systems, so that the conductor is energized, aggravating the possibility of fires and the risk of death of living beings. Records of HIF characteristics in trees is a gap in the literature, which makes it even more difficult to develop new detection algorithms and localization methods. This study presents details of the voltage and current characteristics of HIF in tree branches of the Ipê Roxo type, the result of experimental tests carried out in a laboratory designed and assembled for simulation of HIF in aerial distribution networks, aiming to obtain data for future modeling HIF shunts on trees. These oscillographs were captured using a commercial protection relay.

Keywords— High impedance fault, Electrical Power Systems, Aerial distribution networks, Experimental HIF tests on tree branches.

Resumo— A baixa magnitude de corrente produzida por uma falta de alta impedância (FAI) é uma de suas principais características, fazendo com que sua detecção e localização sejam dificultadas para os equipamentos utilizados atualmente na proteção dos sistemas elétricos de potência, ficando então o condutor energizado, agravando a possibilidade de ocorrência de incêndios e o risco de mortes de seres vivos. Registros das características da FAI em árvores é uma lacuna na literatura, a qual dificulta ainda mais o desenvolvimento de novos algoritmos de detecção e métodos de localização. Este estudo apresenta detalhes das características de tensões e correntes de FAI em galhos de árvore do tipo Ipê Roxo, resultado de testes experimentais realizados em laboratório projetado e montado para simulação de FAI em redes aéreas de distribuição, visando à obtenção de dados para uma futura modelagem de FAI shunts em árvores. A captura dessas oscilografias foi realizada por um relé de proteção comercial.

Palavras-chave— Falta de alta impedância, Sistemas Elétricos de Potência, Redes aéreas de distribuição, Testes experimentais de FAI em galhos de árvores.

1 Introdução

O evento de uma falta de alta impedância (FAI) nos sistemas elétricos de potência, principalmente nos sistemas de distribuição de média tensão, tem como uma de suas principais características a baixa magnitude de corrente, o que a torna quase imperceptível aos equipamentos de proteção atuais (Marxsen, 2015). O contato de galhos de árvores com um ou mais condutores energizados também são consideradas FAI, o qual se estabelece sem que necessariamente ocorra o rompimento do condutor, o que diminui consideravelmente a magnitude da corrente de falta, mas ainda assim é capaz de provocar a queima do galho. Como os equipamentos de proteção não detectam a FAI, o condutor permanece energizado, podendo levar à ocorrência de incêndios com prejuízos financeiros de elevadas proporções, a perda de vidas de pessoas e animais. Quando uma FAI ocorre em redes aéreas de distribuição rurais, devido à predominância da topologia radial com alimentadores de grande extensão e com grande arborização, os quais normalmente cruzam longos trechos desabitados, a

localização apresenta ainda maior dificuldade (Elkalashy et al, 2006).

No estado da arte desta falta não foram localizados oscilografias de características específicas das correntes de FAI em galhos de árvores, principalmente de eventos ocorridos em redes aéreas de distribuição e registrados por seus relés de proteção, o que também é raro para as demais superfícies (Cordeiro, 2019). Existe registro de características das correntes de FAI para superfícies como areia, seixo, asfalto, etc., as quais foram obtidas em testes experimentais com a utilização de osciloscópios e registradores digitais de perturbação (Santos, 2006; Marxsen, 2015; Elkalashy et al, 2006; Masa, 2012).

Este estudo apresenta características específicas de correntes de FAI em galhos de árvore do tipo Ipê Roxo, resultado de testes experimentais realizados em um laboratório projetado e montado para realização experimental de FAI, simulando a ocorrência em redes aéreas de distribuição. Estas características comporão um banco dados deste tipo de falta para uma futura modelagem de FAIs shunts em árvores (Leão et al, 2020). As oscilografias foram registradas por um relé de proteção comercial, o que apesar de incomum, favorece a redução de custos, já que evi-

dência que para a detecção e localização da FAI poderá ser desnecessária a troca de equipamentos, bastando à inserção de algoritmos especialistas capazes de identificar as características das FAI shunts em árvores, o que possibilitará, dentre outras ações, a realização de podas preventivas evitando ocorrências futuras.

2 Falta de Alta Impedância

A falta de alta impedância em redes de distribuição de energia elétrica é uma falha antiga, mas ainda sem solução efetiva, que acontece quando um condutor primário energizado, rompido ou não, entra em contato com uma superfície com baixa condutividade elétrica, como árvore, asfalto, areia ou grama. É normal sua ocorrência em sistemas de distribuição com tensões de 4 kV até 34,5 kV, mas devido à alta impedância, a corrente elétrica de falta possui uma amplitude reduzida, variando de 0 A até menos de 100 A (Hou, 2007; Nakagomi, 2006; Tengdin et al, 1996). No entanto, registros de Cordeiro *et al.* (2019) demonstram oscilografias reais de uma FAI ocorrida em uma rede de média tensão na qual a corrente chegou a 190,5 A. A Tabela 1 mostra valores típicos de corrente de falta em sistema de 12,5 kV para diferentes materiais, mas não apresenta valores para galhos de árvores. Santos (2016) por sua vez, informa que cogitou realizar testes com árvores, mas desistiu por dificuldades operacionais.

A ordem de grandeza dessa corrente produz um pequeno aumento na corrente do sistema e é semelhante a transientes oscilatórios na rede, como entradas e saídas de cargas e chaveamento de banco de capacitores, não sendo suficiente para sensibilizar os sistemas de proteção de sobrecorrente convencionais, como fusíveis e relés, permanecendo o defeito por tempo indefinido (Adamiak et al, 2006; Nakagomi, 2006; Santos et al, 2013). O contato ou queda do condutor em vias públicas pode provocar queimaduras, eletrocussão e até morte de seres vivos, além de causar combustão de materiais, devido ao elevado potencial elétrico (Nakagomi, 2006; Tengdin, 1996).

Para que uma FAI ocorra em galhos de árvores é necessário apenas que um galho fique bem próximo a um condutor energizado (Elkalashy et al, 2006), existindo basicamente três possibilidades: o contato do galho com um condutor primário energizado (monofásica), com dois condutores (bifásica) ou com os três condutores (trifásica), como é mostrado na Fig.1. A maior ocorrência deste tipo de falta é monofásica, sendo que na bifásica o tempo necessário para que o galho pegue fogo é reduzido significativamente (Marxsen, 2015).

A ocorrência de arco elétrico é outra característica muito presente em FAI. Ele é resultado dos espaços de ar devido ao contato não firme entre o condutor energizado e a superfície de alta resistividade ou lacunas na superfície (Tengdin, 1996). O ar é um bom

isolante para uma pequena distância, se a diferença de potencial for pequena, porém com a sua elevação,

Tabela 1. Valores típicos de corrente de falta em sistema de 12,5 kV para diferentes materiais.

Superfícies	Correntes (A)
Asfalto seco ou areia seca	0
Areia molhada	15
Grama seca	25
Grama Molhada	50
Concreto armado	75

Fonte: Adaptado Tengdin, 1996.

a resistência elétrica do ar diminui e a partir de um certo limiar, ocorre o rompimento do dielétrico ar, tornando-o condutor devido a aceleração dos elétrons livres provocada pelo campo elétrico, que lhes fornece energia cinética suficiente. Estes elétrons irão favorecer a liberação de outros ao colidirem e ionizarem moléculas de ar, repetindo-se o processo e criando um fenômeno de avalanche, sendo o arco elétrico a condução de corrente de forma contínua. Contudo, isso não ocorre de forma imediata, requerendo que antes haja uma série rápida de rompimentos momentâneos do dielétrico, chamado centelhamento (Nakagomi, 2006).

A corrente de FAI possui características que a distingue de outras falhas, principalmente devido ao arco elétrico e da reduzida amplitude (Nakagomi, 2006; Nam et al, 2001; EPRI, 1982):

- Não linearidade: A curva característica da tensão em função da corrente é não linear, e ocasiona harmônicos da 3ª a 10ª ordem, aproximadamente;
- Assimetria: A corrente de falta possui diferentes valores de pico para o semiciclo positivo e negativo, e promove o aparecimento de harmônicos de ordem par da fundamental;
- Intermitência: Descontinuidade momentânea da corrente, e provoca o surgimento de um espectro de harmônicos de alta frequência;
- *Buildup*: Variação progressiva da corrente a cada semiciclo, e provoca harmônicos intercalados;
- *Shoulder*: Instantes de constância entre o *buildup*.

Estas características estão evidenciadas na Fig.2, ressaltando-se que as mesmas dependem de condições ambientais, espaciais, geométricas e elétricas do sistema. Por essas razões, as grandezas elétricas envolvidas nessa falha possuem comportamento aleatório (Kaufmann e Page, 1960).

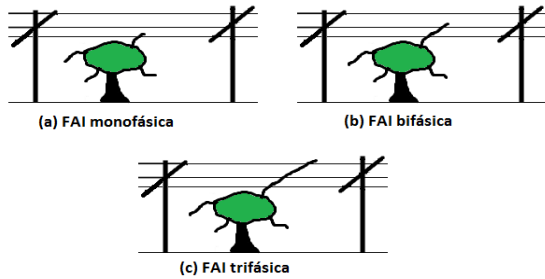


Figura 1. Possibilidades de FAI por contato em condutores.

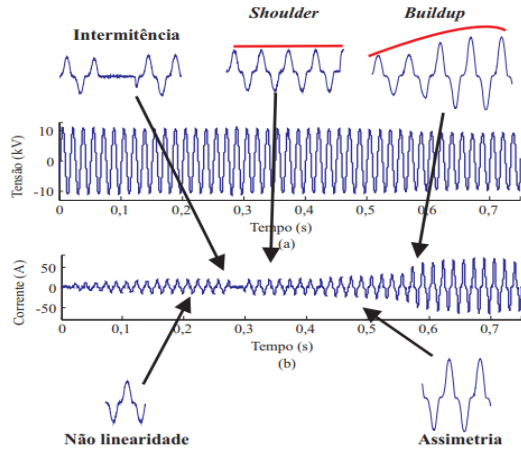


Figura 2. Oscilografia real de uma FAI: (a) Tensão sem afundamentos (b) Corrente de FAI contendo as principais características. Fonte: Nam et al (2001).

3 Laboratório para Testes Experimentais de FAI em Redes Aéreas de Distribuição

Para a realização de testes experimentais de FAI foi realizado o projeto e a montagem do Laboratório para testes experimentais de FAI em Redes Aéreas de Distribuição (LABFAI) no Laboratório de Alta Tensão (LEAT) da Universidade Federal do Pará (UFPA), tendo este Laboratório sido previsto no P&D ANEEL FAI, o qual tem o objetivo desenvolver um Localizador de Falhas de Alta Impedância em Redes Aéreas de Distribuição. O projeto e a estrutura atual do LABFAI podem ser vistos nas Fig.3 e 4, respectivamente.

O LABFAI é alimentado por um circuito do LEAT em baixa tensão (220 V) e corrente de 400 A, sendo a máxima corrente em alta tensão limitada a 6 A devido à relação de Transformação do Trafo de 225 kVA. Para garantir a não atuação do disjuntor de proteção do circuito alimentador, o relé foi parametrizado com correntes limites para fases em 5 A e 4,5 A para o neutro. Mesmo com a limitação citada, tendo em vista a alta impedância das superfícies testadas, muitos experimentos puderam ser realizados sem maiores dificuldades, sendo utilizado o relé comercial SEL 751 para proteção da rede e registro das oscilografias, o qual captura 32 amostras por ciclo e 65 ciclos em cada evento. Este equipamento foi cedido pela Equatorial Pará.

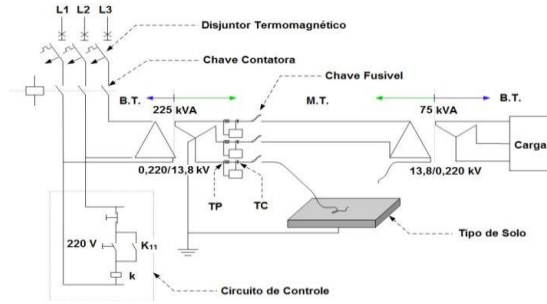


Figura 3. Projeto LABFAI.

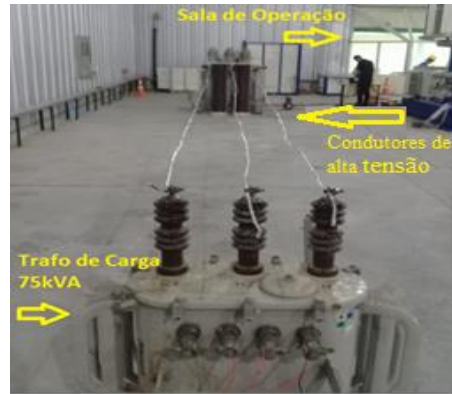


Figura 4. Estrutura Física atual do LABFAI.

4 Características das Tensões e Correntes de FAI em Galhos de Ipê Roxo

Considerando a grande diversidade de espécies de árvores na Região Amazônica, onde se localiza a UFPA, e devido a pouca literatura que trata das características das tensões e correntes de FAI nelas (Marxsen, 2015; Elkalashy et al, 2007; Elkalashy et al, 2008), optou-se em iniciar os experimentos com esta superfície, o que foi favorecido pela relativa simplicidade para simulação deste tipo de FAI no laboratório montado. Importa observar que o conhecimento destas características é informação essencial na grande maioria de métodos utilizados para modelagem, detecção e localização de FAI (Ghaderi et al, 2017; Nam et al, 2001; Santos, 2006; Marxsen, 2015; Elkalashy et al, 2006; Masa, 2012).

O Ipê Roxo, por sua vez, é uma árvore facilmente encontrada na região, sendo comum na área da UFPA. Ela possui uma constituição interna maciça e alcança facilmente alturas superiores aos 8 a 10 metros utilizados nas redes de distribuição de média tensão (Nakagomi, 2006), altura usada em grande parte das redes aéreas de distribuição da concessionária local Equatorial Pará, financiadora do projeto P&D ANEEL intitulado “Localização de Falhas de Alta Impedância em Redes Aéreas de Distribuição”, sendo estas algumas das razões que motivaram sua escolha para estudo.

4.1 Condições e Critérios dos Testes de FAI em Ipê Roxo

A temperatura e umidade do ambiente de testes não podem ser ajustadas, sendo amplamente influenciados pelas condições ambientais locais, por esta razão tais parâmetros foram considerados como aleatoriedades para os testes realizados. Visando garantir que as condições habituais dos galhos estivessem intactas para simulação das FAI, utilizaram-se galhos cortados na data em que os testes ocorreram.

Os testes foram realizados com a rede equilibrada e sem carga, sendo utilizado o condutor da fase “C” íntegro, ou seja, não houve a “simulação” de rompimento deste cabo. Nestas condições, duas possibilidades básicas foram consideradas: I – Galho (1) próximo ao condutor, mas não encostado; II – Galhos (1,2 e 3) encostando-se ao condutor. Para a segunda condição, ainda foram verificadas as influências do tempo de ocorrência da FAI e da variação da distância linear entre o ponto de contato com o condutor energizado e o ponto do galho conectado a terra. Para todas as condições, estando o cabo íntegro, a corrente de FAI é aquela que passa pelo galho e vai para a terra, a qual foi medida pelo Relé 751 SEL através da corrente de terra (IG).

Os primeiros testes com estes galhos ocorreram no dia 30.10.2019, mas após verificação das oscilografias identificou-se a necessidade de serem refeitos os testes de 01 a 04, uma vez que os dados obtidos estavam inconsistentes. Desta forma, os testes complementares foram feitos no dia 11.11.2019. É importante observar que para estes 04 testes, visando identificar se haveria aumento na quantidade de dados obtidos das correntes, o relé foi parametrizado para registrar, dentre os 65 ciclos disponíveis, 30 ciclos como pré-falta, o que possibilitou a captura dos dados iniciais e finais das correntes de FAI, com a mensuração do crescimento absoluto da corrente. Para os demais testes (Testes 5 a 10), foram utilizados apenas 05 ciclos pré-falta.

I – Galho 1 próximo ao condutor, mas não encostado.

No Teste 1 foi estabelecida em 0,5 metros a distância linear entre o ponto próximo ao condutor energizado e o ponto do galho conectado a terra, sendo estabelecido um tempo limite de 15 segundos para o teste. A Fig. 5 apresenta o posicionamento do galho de Ipê Roxo próximo ao condutor “C” que foi energizado para simulação da FAI, sendo perceptível a distância linear entre o ponto próximo ao condutor energizado e o ponto do galho conectado a terra.

A tensão e corrente de FAI geradas quando o LABFAI foi energizado são apresentadas na Fig. 6. Registra-se que durante a realização do teste não houve a ocorrência de arco elétrico e a oscilografia confirmou a inexistência de corrente de FAI.

II – Galhos encostando-se ao condutor.

Para a realização dos testes nesta nova condição, foram utilizados os galhos 1, 2 e 3, pois o galho 1 não sofreu qualquer deterioração visível durante o Teste 1 e os demais galhos (2 e 3) estavam intactos.



Figura 5. Galho de Ipê Roxo próximo ao cabo e aterramento distante a 0,5 metros.

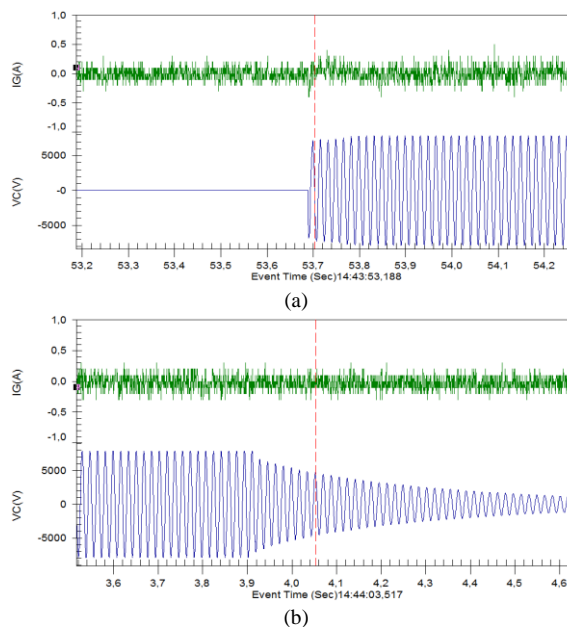


Figura 6. Corrente e Tensão da FAI do galho próximo ao cabo (a) Início (b) Fim – Teste 1.

Para todos os testes foram variados os tempos de duração e a distância linear entre o ponto de contato com o condutor energizado e o ponto do galho conectado a terra, mantendo-se o tempo total de testes para cada um dos galhos em 8 segundos, divididos conforme Tabela 2.

Como já citado, o Teste 2 utilizou o mesmo galho 01 da Fig. 5, porém agora encostado ao condutor. A tensão e a corrente de FAI no Teste 2 são vistas na Fig. 7, onde a corrente teve seu início em fase com a tensão, imediatamente após a energização do LABFAI. As oscilografias revelam que os efeitos na tensão da fase faltante são desconsideráveis apesar do galho ter sido encostado no condutor. A corrente se iniciou imediatamente após a energização da rede, o que foi facilitado pelo contato firme estabelecido entre o cabo e o galho. O caminho estabelecido para a corrente, mesmo apresentando uma alta impedância, possibilitou a passagem de uma corrente que iniciou em 0,3 A, alcançando 2,7 A nos momentos finais registrados no teste. Ressalta-se que o nível de corrente atingido no teste não foi suficiente para acionar a proteção do relé, pois o teste encerrou depois de decorrido o tempo estabelecido.

Tabela 2. Condições testadas nos galhos de Ipê Roxo encostados no condutor energizado.

Galho	Teste	Tempo Previsto (s)	Distância Linear (m)
1	2	5	0,5
1	3	3	0,5
1	4	1	0,5
2	5	5	1,0
2	6	3	1,0
2	7	1	1,0
3	8	5	1,5
3	9	3	1,5
3	10	1	1,5

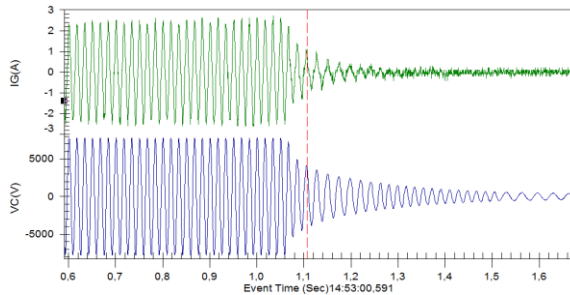
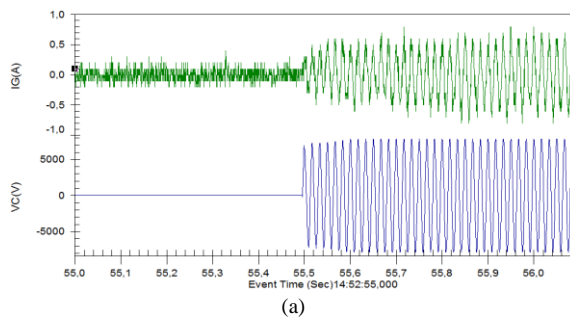


Figura 7. Corrente e Tensão da FAI do galho encostado ao cabo (a) Início (b) Fim – Teste 2

Na Fig. 8 é vista a curva característica obtida para um ciclo do regime permanente.

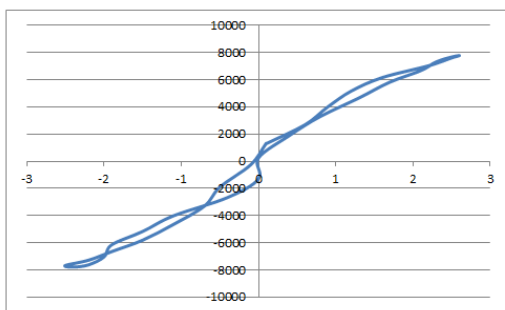


Figura 8. Curva característica $V \times I$ da FAI – Teste 2

Na Fig. 9 (a) são visto momentos de constância da corrente (*shoulder*), crescimento (*buildup*), não linearidades (distorções) e assimetrias, características relevantes da FAI. Os detalhes da Fig. 9 (b) revelam que no final da corrente existe a redução da não linearidade (distorções), ainda persistem as assimetrias nos semiciclos, mas o crescimento da sua amplitude fica quase estático.

Os Testes 3 e 4 utilizaram o mesmo galho do Teste 2. A redução dos tempos previstos na Tabela 2 visava evitar a dissipação total da resistência do galho de forma prematura.

As oscilografias da corrente e tensão do Teste 3, cuja duração foi de 3 segundos, são vistas na Fig. 10. Nelas as formas de ondas são muito parecidas com as do teste anterior, mas a corrente iniciou em 0,5 A e alcançou 1,7 A nos momentos finais registrados, o que demonstra que apesar do aumento relativo no valor inicial da corrente, quando comparada a registrada no Teste 2 (0,3 A), a resistência remanescente no galho impediu o seu crescimento elevado no tempo aplicado. Ressalta-se que a inexpressiva variação da tensão da fase faltante, o comportamento resistivo da falta e as características da corrente, detalhes vistos na Fig. 11, foram semelhantes às percebidas no Teste 2.

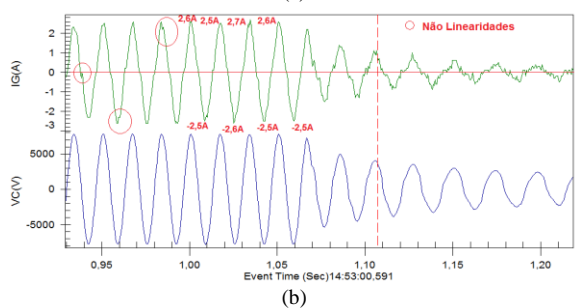
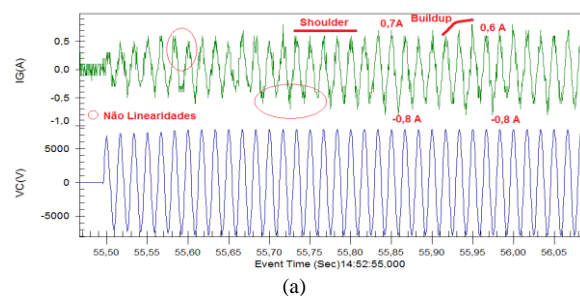


Figura 9. Detalhes das distorções, assimetrias e crescimento na corrente (a) Início (b) Fim – Teste 2

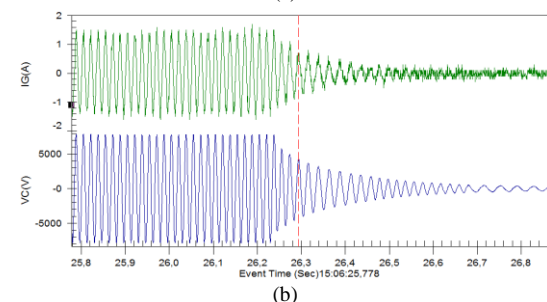
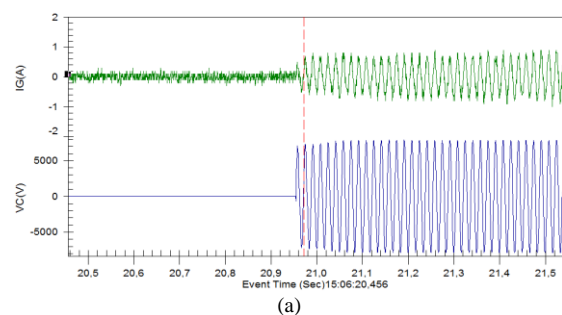
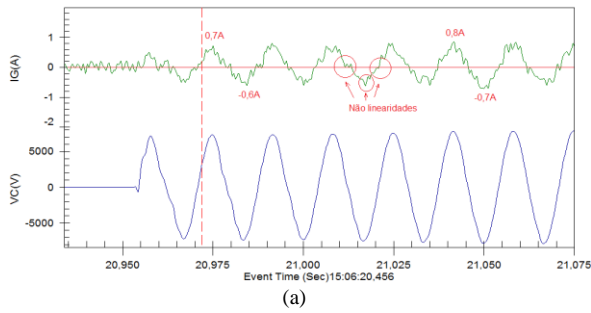
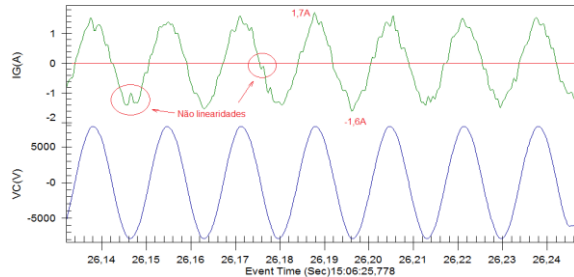


Figura 10. Corrente e Tensão da FAI do galho encostado ao cabo (a) Início (b) Fim – Teste 3

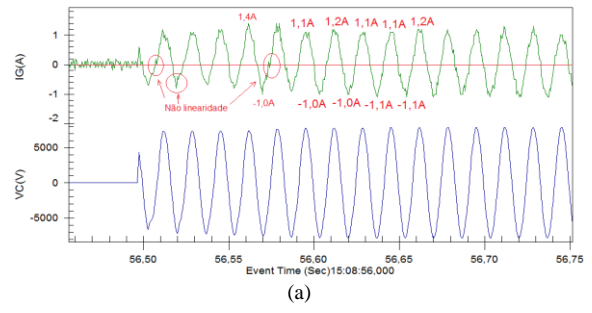


(a)

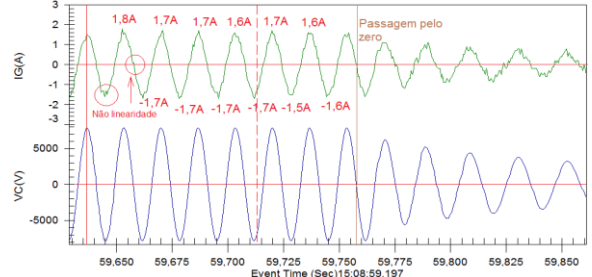


(b)

Figura 11. Detalhes das distorções, assimetrias e crescimento na corrente (a) Início (b) Fim – Teste 3



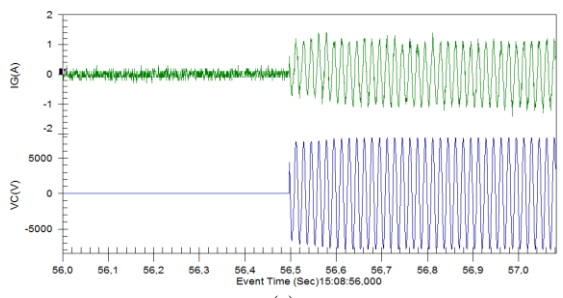
(a)



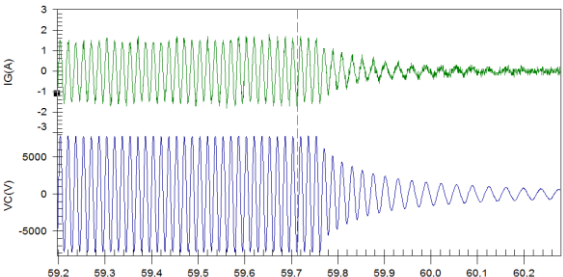
(b)

Figura 13. Detalhes das distorções, assimetrias e crescimento na corrente (a) Início (b) Fim – Teste 4

O Teste 4 utilizou o mesmo galho do Teste 3, permanecendo ligado por apenas 1 segundo. As oscilografias da corrente e tensão, vistas na Fig. 12, apresentam formas de ondas muito parecidas com as dos dois testes anteriores. O pico positivo da corrente neste teste iniciou em 0,6A, alcançando 1,8A nos momentos finais registrados. O comportamento da tensão e da corrente apresentarão pouquíssimas alterações, sendo relevante observar que nos ciclos finais da corrente sua amplitude tornou-se quase constante, o que pode ser percebido na Fig. 13.



(a)



(b)

Figura 12. Corrente e Tensão da FAI do galho encostado ao cabo (a) Início (b) Fim – Teste 4

Nos Testes 5, 6 e 7, a distância linear entre o ponto de contato com o condutor energizado e o ponto do galho conectado a terra foi aumentado para 1,0 metros. No Teste 5, estando o galho intacto, o comportamento da tensão e da corrente de FAI, vistos na Fig.14, foram similares aos verificados no Teste 2, mas com significativa redução da amplitude da corrente, devido ao aumento da resistência total do galho. Nos detalhes dessas oscilografias, vistos na Fig.15, são claras as distorções na forma de onda da corrente e as assimetrias nos seus semiciclos, sendo de 0,7 A o valor máximo da amplitude alcançada pela corrente.

Nos Testes 6 e 7 as oscilografias das corrente foram idênticas as verificadas no Teste 5, como pode ser verificado nas Figuras 16 e 17, respectivamente, observando-se o fato de que boa parte destas correntes é composta pelo ruído da rede, o qual pode ser visto na Fig.6. Além dos reduzidos valores de corrente, a ausência de *buildup* e *shoulder* pode indicar que a impedância do galho atingiu valores suficientemente elevados, capaz de evitar a ocorrência de uma corrente de FAI ou ao menos torná-la imperceptível ao dispositivo utilizado para o registro.

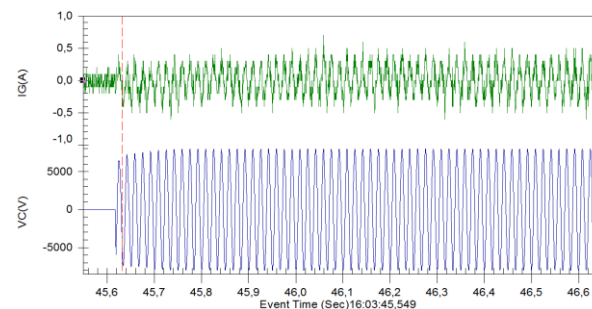


Figura 14. Corrente e Tensão da FAI do galho encostado ao cabo Teste 5

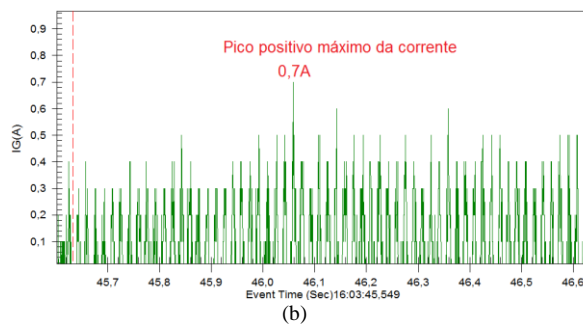
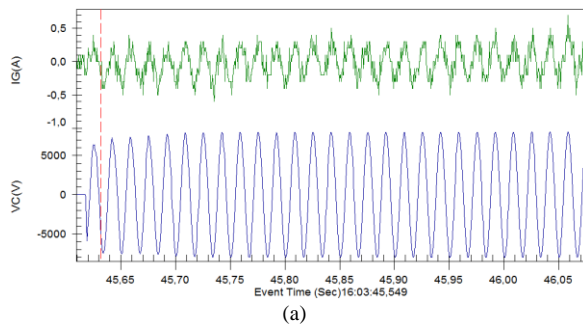


Figura 15. (a) Detalhes das distorções e assimetrias na corrente
(b) Valor máximo da corrente – Teste 5

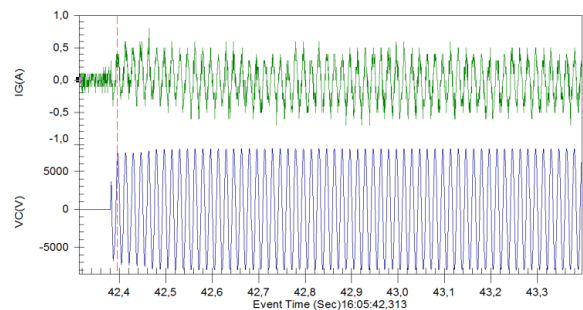


Figura 16. Corrente e Tensão da FAI do galho encostado ao cabo
Teste 6

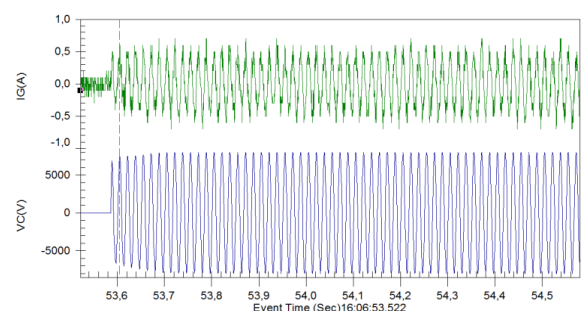


Figura 17. Corrente e Tensão da FAI do galho encostado ao cabo
Teste 7

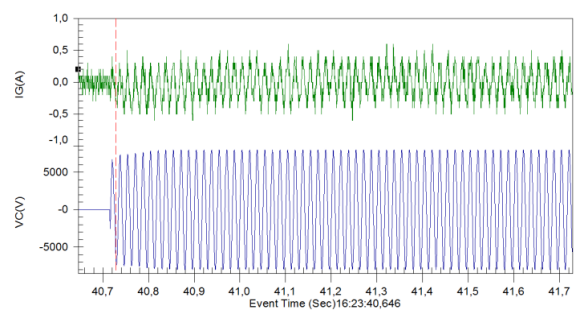


Figura 18. Corrente e Tensão da FAI do galho encostado ao cabo
Teste 8,9 e 10

Nos Testes 8, 9 e 10, a distância linear entre o ponto de contato com o condutor energizado e o ponto do galho conectado a terra foi aumentado para 1,5 metros, o que praticamente interrompeu o fluxo de corrente no galho, sendo registrados apenas ruídos na corrente, ficando todas as oscilografias semelhantes as da Fig. 18.

5 Conclusão

Em nenhum dos testes realizados com galhos de Ipê Roxo foi verificada a ocorrência de intermitência na corrente da FAI, sendo esta característica ineficaz para modelagem ou identificação deste tipo de evento.

Nos testes onde houve o efetivo registro da passagem de corrente (Testes 2, 3 e 4), ficou evidente a ocorrência FAI, pois foram registradas características como *buildup*, *shoulder*, assimetria e não linearidade, além da baixa amplitude da corrente, que evidencia a elevada resistência elétrica que esta árvore possui.

Nos seis últimos experimentos realizados, quando foram aumentadas as distâncias lineares entre o ponto da falta e a terra, havendo elevação da resistência total dos testes, a tensão aplicada não foi suficiente para produzir um corrente de FAI não comprometida pelos ruídos da rede. Nestas condições, a tentativa de detecção da FAI por características das suas correntes fica afetada, sendo necessária a utilização de outras metodologias.

As características da FAI em galhos de Ipê Roxo, obtidas através de testes experimentais e registradas através de um relé comercial, são inéditas em toda a literatura e possibilitarão o desenvolvimento de modelos mais específicos para este tipo de falta, permitindo sua detecção e localização. A aplicação desta pesquisa pode resultar tanto na redução de custos operacionais da Distribuidora pela identificação e localização de FAI em sua rede aérea de distribuição, quanto pela detecção eventual que possibilite a realização de podas preventivas, evitando ocorrência de incêndios e principalmente a perda de vidas humanas.

Agradecimentos

Esta pesquisa só foi possível devido ao aporte financeiro da CAPES e da parceria com a EQUATORIAL PARÁ, através do P&D FAI, sem os quais a mesma não seria possível.

Referências Bibliográficas

Adamiak, M., Wester, C., Thakur, M. & Jensen, C. (2006). *High impedance fault detection on distribution feeders*. Protection & Control Journal, Ontario, p. 25-31.

- Cordeiro, M. A. M., Heringer, W.R., Paye, J. C. H., Vieira, J. P. A., Sousa, A. L., Leão, A. P., Farias, P. E., Wontroba, A., Júnior, G. Cardoso e Santos, M. C.. (2019) *Validation of a high impedance fault model for overhead distribution networks using real oscillography data*. In: LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION – CLAGTEE, 13, Santiago.
- Elkalashy, N., Lehtonen, M. Lehtonen, Darwish, H., Izzularab, M. and Taalab, A. (2006) *Modeling and Experimental Verification of High Impedance Arcing Fault in MV Networks*. Accepted at IEEE Transaction on Dielectric and Electrical Insulation and published at IEEE/PES, Power Systems Conference and Exposition, PSCE 2006, Apr 2007, Atlanta, Georgia, USA
- Elkalashy, N. I. et al. (2008) *DWT-based detection and transient power direction-based location of high-impedance faults due to leaning trees in unearthen MV networks*. IEEE Transactions on Power Delivery, [Piscataway], v.23, n.1, p.94-101, Jan.
- EPRI. (1982). “*EPRI Report: Detection of arcing faults on distribution feeders*”, EPRI Final Rep. EL-2767, Palo Alto, CA, USA, Tech. Rep.
- Fanucchi, R. (2014) *A detecção e a localização de faltas de alta impedância em sistemas de distribuição utilizando transformadas wavelets e redes neurais artificiais*. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Ghaderi, A., Ginn III, H. L. and Mohammadpour, H. (2017). *A High impedance fault detection: A review*. Elect. Power Syst. Res., vol. 143, pp. 376–388, 2017.
- HOU, D. (2007). *Detection of high-impedance faults in power distribution systems*. In: ANNUAL CLEMSON UNIVERSITY POWER SYSTEMS CONFERENCE, 6, Clemson.
- Kaufmann, R.H. & Page, J.C. (1960). *Arcing Fault protection for low-voltage power distribution systems – nature of the problem*. AIEE Transactions on Power Apparatus System, v.79, p.160 – 167, December.
- Leão, A. P., Tostes , M. E. L., Vieira, J. P. A., Bezerra, U. H., Cordeiro , M. A. M., Heringer, W.R., Paye, J. C. H. e Santos, M. C. (2019). *Use of a Resonant Source for Experimental Tests of High Impedance Faults at Medium Voltage Levels*. In: Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE, 13, 2019, Santiago.
- Leão, A. P., Tostes , M. E. L., Vieira, J. P. A., Bezerra, U. H., Santos, M. C., Sousa, A. L., Heringer, W.R., Cordeiro , M. A. M., Paye, J. C. H. e Pinheiro, L. P. A. (2020). *Características de Faltas de Alta Impedância em Redes Aéreas de Distribuição em Galhos de Castanhola*. VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE 2020, Santo André - SP.
- Masa, A. V., Maun, J. C., Werben, s. (2012). *Incorporation of data-mining in protection technology for high impedance fault detection*. IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, California, EEUU.
- Marxsen, T. (2015). *Vegetation conduction ignition test report—Final*. Dept. Econ. Develop. Jobs Transport Resour., Marxsen Consulting Pty Ltd., Sydney, Australia.
- Nakagomi, R. (2006) *Proposição de um sistema para simulação de faltas de alta impedância em redes de distribuição*. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Nam, S. R., Park, J. K., Kang, Y. C.; Kim, T. H. (2001). *A modeling method of a high impedance fault a distribution system using two series time-varying resistances in emp*. IEEE PES Summer Meeting.
- Santos, W., Souza, B., Brito, N. D., Costa, F., and Paes Jr., M. (2013). “*High impedance faults: From field tests to modeling*”, *J. Control, Autom. Elect. Syst.*, vol. 24, no. 6, Sep.
- Santos, W (2016). *Identificação de faltas de alta impedância em sistemas de distribuição*. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Tengdin, J. et al. (1996). *High impedance fault detection technology*. Report of PSRC Working Group D15, mar.