

Uma Proposta Metodológica para a Atribuição da Responsabilidade sobre a Origem das VTCDs baseada na Correlação de Componentes Simétricas

Adrian Ribeiro Ferreira*. José Carlos de Oliveira**
Paulo Henrique Oliveira Rezende***

*Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil (e-mail: adrianrf.ufu@gmail.com)

** Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil (e-mail: jcoliveira@ufu.br)

*** Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, (e-mail: paulohenrique.rezende@ufu.br)

Abstract: Short Term Voltage Variations are phenomena responsible for changes in the rms value of supply voltages, typically below 0.9 pu and above 1.1 pu, with time duration less than 3 minutes. Despite their short duration, they may have a great influence on the operation of the loads and can even interrupt production processes. In this regard, the regulations applicable to the establishment of quality standards, at both national and international level, present guidelines and limits to a number of indicators, such as harmonics, flicker, unbalances, etc. Regarding the phenomenon herein considered, in terms of distribution grids, attempts to establish limits to such disturbances were recently contemplated. Even though still in incipient stages, it is evident that, together with the normative guidelines, the issue of identifying the responsibility of the source of the voltages variations, aiming, above all, to substantiate the analysis of the processes involving complaints by consumers and possible corrective measures, raise the need for mechanisms for a clear attribution if the phenomenon is derived by the utility or the consumer. Focusing this subject this paper is aimed at proposing a methodology to identify the phenomenon responsibility and to highlight its effectiveness based on computational studies.

Resumo: As Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs) são fenômenos responsáveis por alterações do valor eficaz das tensões de suprimento por tempos inferiores a 3 minutos. Muito embora sua duração seja relativamente pequena, as mesmas exercem grande influência no funcionamento das cargas e podem, até mesmo, interromper processos produtivos. Neste particular, as regulamentações aplicáveis ao estabelecimento dos padrões de qualidade, a nível nacional e internacional, apresentam diretrizes e limites para vários outros indicadores, todavia, quanto ao fenômeno aqui considerado, à nível de distribuição, no âmbito brasileiro, estes foram recentemente contemplados pelo PRODIST-ANEEL. Muito embora ainda em estágio incipiente, fica evidenciado que, conjuntamente com as diretrizes normativas, a questão da identificação da responsabilidade das VTCDs, visando, sobretudo, consubstanciar as análises dos processos envolvendo reclamações por consumidores e eventuais medidas corretivas, suscitam a necessidade de mecanismos para uma clara atribuição quanto a origem do fenômeno, isto é, se o evento é advindo da rede de suprimento ou do próprio consumidor. Este ponto se apresenta como cerne do presente trabalho, que apresenta uma proposta de metodologia e avalia a eficácia dos resultados para os fins ora postos.

Keywords: Legislation; Power quality; Event Responsibility; Voltage Sags; Symmetrical Components.

Palavras-chaves: Legislação; Qualidade da energia; Responsabilidade de Eventos; VTCD; Componentes Simétricas.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos envolvendo a Qualidade da Energia Elétrica são responsáveis, não somente, em analisar se há fornecimento de energia elétrica, como também, se o produto (tensão) fornecido pelas concessionárias de energia elétrica se apresenta em conformidade com os padrões considerados adequados. Para tanto, no contexto nacional, as questões em pauta são contempladas pela legislação vigente instituída pela ANEEL e ONS através de suas determinações normativas: PRODIST e Procedimentos de Rede (FERREIRA 2002),(ANEEL 2018),(ONS 2017). Estas diretrizes visam analisar a qualidade da energia elétrica através de indicadores como: distorções harmônicas, desequilíbrios, variações de tensão de curta duração, flutuações de tensão, etc. Tais

fenômenos são claramente apresentados nos documentos que regulamentam a matéria e, dentre outros aspectos, visam estabelecer limites consonantes com as tolerâncias impostas pelos mais distintos equipamentos supridos à nível de unidades industriais, comerciais e residenciais. Deveras, é fato conhecido que, em contrapartida a constante evolução dos dispositivos eletroeletrônicos e outros, encontrados em tais instalações, muito embora o reconhecimento de seus atrativos atributos, há de se considerar, também, que os mesmos possuem sensibilidades e mesmo suportabilidade às condições impostas pelos respectivos fornecimentos elétricos de suprimento. No contexto dos fenômenos de influência enquadrados dentro do tema da qualidade da energia ressaltam-se as interdependências operacionais dos mais

distintos equipamentos diante das variações de tensão de curta-duração (VTCD) (Bonatto et al. 2004).

Não obstante a pequena duração destes eventos, os efeitos provocados podem ser extremamente danosos, causando impactos que compreendem desde a operação anormal de equipamentos específicos até interrupções de grandes processos produtivos. A exemplo deste assunto, em (Ferreira et al. 2019) são apresentadas informações de caráter financeiros que evidenciam a relevância do tema em pauta. A Tabela 1 ilustra prejuízos financeiros típicos associados com paradas de processos causados pelas VTCDs. Estes valores econômicos, somados a outros efeitos negativos como danos físicos em equipamentos, segurança operacional, etc. evidenciam a relevância do tópico focado neste trabalho.

Tabela 1. Custos/prejuízos associados com VTCDs (União Europeia e Estados Unidos)

Tipo de Indústria	Perdas Típicas por Evento (€ ou US\$)	País/Região
Mercado Financeiro	6.000.000 (por hora)	UE
Telecomunicações	30.000 (por minuto)	UE
Produção de Semicondutores	3.800.000	UE
Centro de Informática	750.000	UE
Aço	350.000	UE
Vidro	250.000	UE
Fabricação de Equipamentos	100.000	EUA
Automobilística	75.000	EUA
Fabricação de Papel	30.000	EUA
Indústria Química (plástico, vidro, etc)	5.000	EUA

Visando pois o estabelecimento de padrões normativos voltados para a matéria, o PRODIST-Módulo 8, apresenta, inicialmente, o entendimento de uma VTCD como sendo: “Desvios significativos na amplitude do valor eficaz de tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos” (ANEEL 2018). Ainda neste cenário, estudos desenvolvidos por (Bollen 1997) ainda complementaram o tema através da proposição de uma proposição de classificação das VTCDs, em consonância com a natureza de sua ocorrência nas 3 fases que compõem a rede elétrica, os valores atingidos durante suas manifestações, e ainda, os defasamentos manifestados entre as tensões.

Muito embora as definições sejam bastante difundidas no meio técnico e científico, o fato é que, sob o ponto de vista de uma orientação normativa a respeito do assunto, muito pouco foi feito até o momento para a qualificação e quantificação dos limites admissíveis para as VTCDs. Um dos mais recentes trabalhos, materializado na forma da versão corrente do PRODIST, consiste em estabelecer um indicador, denominado por Fator de Impacto (FI), o qual busca meios para definir os níveis aceitáveis para a ocorrência dos distúrbios em pauta.

Não obstante tal iniciativa, vale aqui reconhecer que, até o momento, o referido documento apenas contempla os quantitativos manifestados, sem qualquer preocupação com a responsabilidade sobre a sua origem. Esta última questão se apresenta como desafio de grande relevância, visto que, uma vez identificados efeitos danosos ou paradas de processo, o

tema se apresenta como motivo de contendas judiciais entre os agentes supridores e os consumidores.

Objetivando o estabelecimento de metodologias destinadas a identificação da origem dos fenômenos aqui contemplados, diversos autores, em diferentes países, abordaram a temática supra posta. Uma delas é apresentada em (Ahn et al. 2008), cujo procedimento fundamenta-se na razão entre os valores de corrente, potência ativa e distorções harmônicas, antes e durante o evento. Uma outra, contida em (Santis et al. 2017), encontra-se embasada na análise da amplitude e duração das VTCDs em diferentes barras do sistema elétrico analisado. A partir destas medições, utilizando-se de um padrão de análise e interpretação, é concluída a origem do fenômeno causador da VTCD. Uma outra estratégia, estabelecida em (Shareef, Mohamed, and Ibrahim 2013), utiliza da Transformada Rápida de Fourier e uma complementação da mesma. Neste sentido, as grandezas tensão e corrente do sistema são monitoradas e tratadas. Assim procedendo é definida se a responsabilidade da VTCD está a montante ou a jusante do ponto de acoplamento do consumidor com o supridor. Por fim, estudos desenvolvidos em (Passos 2015), baseados nas informações relacionadas ao comportamento do fluxo de potência antes e durante o afundamento de tensão, também buscam a solução para a questão ora tratada.

Embora o reconhecimento destes trabalhos, o fato é que, até o momento, nenhum resultou em um procedimento com praticidade para uso em campo, e ainda, se apresentam como estratégias envolvendo altos custos financeiros. Portanto, os mesmos ficam limitados ou pela aplicabilidade ou por questões financeiras, ou pelo conjunto destes dois fatores.

Dentro da temática posta, o presente artigo se reveste do objetivo de propor uma estratégia alternativa àquelas contempladas na literatura, a qual, dentre outros aspectos, visa uma metodologia simples e eficaz para a identificação do distúrbio tratado. O processo se baseia em medições das tensões e/ou correntes no primário e secundário do transformador presente na subestação de alimentação do consumidor, na obtenção das componentes simétricas atreladas com tais grandezas e, por fim, o estabelecimento de uma lógica comparativa entre os indicadores de desequilíbrios presentes no primário e no secundário do transformador. Portanto, o processo se reveste de simplicidade e, somado a apresentação dos fundamentos que regem a proposição, são ainda investigados, computacionalmente, situações típicas, visando a avaliação da eficácia da proposta.

2. FUNDAMENTOS E CONCEITOS ASSOCIADOS A VTCDs

2.1 - Terminologia

As VTCDs podem ser classificadas de diferentes maneiras, uma dessas, apresentada no módulo 8 do PRODIST, classifica tais fenômenos de acordo com o módulo e a duração dos eventos manifestados, como observado na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação das VTCDs - Módulo 8 do PRODIST

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Focando, de forma pontual, a natureza física dos fenômenos, as referências (Bollen 1997) e (Cabral 2010) classificam as VTCDs em 7 diferentes tipos, como indicado na Fig. 1. Observando os fasores representativos dos eventos, fica esclarecido que aquelas identificadas como sendo do tipo A são advindas de faltas trifásicas simétricas, já os do tipo B e C encontram-se associadas com a manifestação de faltas monofásicas. Ressalta-se que o comportamento adverso do tipo C em relação ao tipo B encontra-se associado com a conexão do transformador, no caso em delta. Também, o tipo C pode estar correlacionado com a falta fase-fase quando da conexão estrela. Quanto ao tipo D, este se apresenta consonante com faltas fase-fase do lado delta dos transformadores. Por fim, os tipos E, F e G estão vinculados com curtos-circuitos fase-fase-terra, todavia, contempla diversas possibilidades no que tange a conexão dos transformadores.

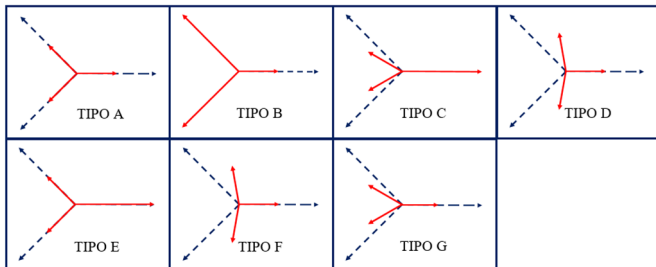


Fig. 1: Caracterização das VTCDs quanto aos seus tipos.

A título de ilustração, a Fig. 2 é indicativa do fenômeno identificado como do tipo C. Nesta se constata, com clareza, as alterações das formas de onda das tensões trifásicas antes e após a ocorrência de uma falta fase-terra do lado delta de um transformador, ou, fase-fase do lado estrela do transformador.

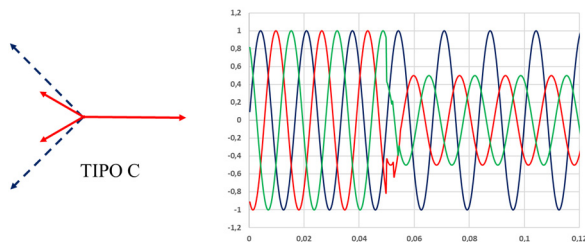


Fig 2: Oscilograma associado com um afundamento de tensão do tipo C.

2.2 Fundamentos matemáticos para análise de sistemas desequilibrados

Uma vez reconhecido que, sob a ação das VTCDs, os sistemas trifásicos, originalmente equilibrados, se mostram com elevado nível de assimetria, a ferramenta de análise para tal consiste no emprego da tradicional transformação de Fortescue. Esta, como amplamente conhecido, permite que um conjunto de tensões e/ou correntes trifásicas desequilibradas, possa ser tratado através de um conjunto de componentes equilibradas, linearmente independentes, denominadas de componentes simétricas (Cabral 2010). Fisicamente, a Fig. 3 (SILVA 2017) ilustra o procedimento aplicável e mostra a presença do que se denomina por: componentes de sequência positiva, componentes de sequência negativa e, componentes de sequência nula. As primeiras caracterizadas por um conjunto trifásico equilibrado de fasores, todavia, um numa sequência e outro no sentido contrário. Já as denominadas componentes de sequência zero se mostram como um conjunto de fasores em fase.

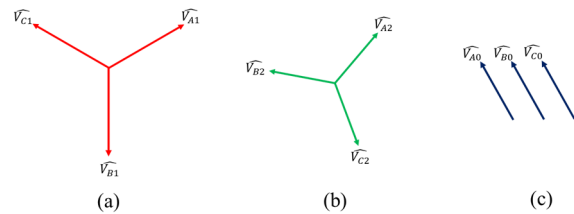


Fig. 3: Componentes de sequência (a) positiva, (b) negativa e (c) zero.

Efetuada a composição fasorial das componentes de fase, nos termos estabelecidos pela ferramenta de análise em pauta, tem-se a reconstituição do complexo trifásico desequilibrado original, como indicado na Fig. 4.

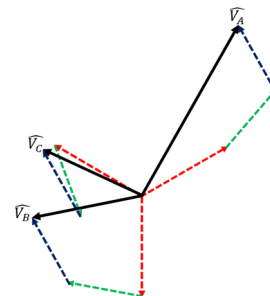


Fig. 4: Sistema trifásico original e suas componentes de sequência positiva, negativa e zero.

Matematicamente, o tratamento, aplicável às tensões e correntes, visando correlacionar as grandezas de fase com as componentes simétricas, é feito através da expressão a seguir, onde $a = 1\angle 120^\circ$.

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_a \\ \hat{V}_b \\ \hat{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{V}_{a_0} \\ \hat{V}_{a_1} \\ \hat{V}_{a_2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.3 Fator de Desequilíbrio

Objetivando quantificar o nível da assimetria presente em redes trifásicas desequilibradas, a literatura propõe um indicador desta anomalia através da correlação entre o nível da tensão/corrente de sequência negativa em relação ao correspondente valor da sequência positiva. Via de regra, a presença das componentes de sequência zero não são contempladas pelas legislações, motivo pelo qual não são aqui consideradas.

Assim procedendo, em consonância com o disposto nos mais distintos documentos normativos, a exemplo do PRODIST-Módulo 8, é adotada a expressão abaixo para quantificar o nível de desequilíbrio ou assimetria presente numa rede elétrica:

$$FD\% = \frac{V_2}{V_1} \cdot 100 \quad (2)$$

Naturalmente, visto que o cálculo do indicador acima requer a necessidade dos fasores das tensões fase-neutro ou fase-fase e que estes são definidos por seus módulos e ângulos de fase, dificuldades de ordem prática pode ocorrer quanto os respectivos ângulos não são medidos. Nestas circunstâncias, é sabido que uma formulação alternativa, fundamentada em estudos conduzidos pela CIGRE, e baseada tão apenas nos módulos das tensões fase-fase, se apresenta com um nível de exatidão compatível aos cálculos aqui requeridos. Assim procedendo, é também possível determinar o nível de desequilíbrio através da expressão:

$$\beta = \frac{V_{AB}^4 + V_{BC}^4 + V_{CA}^4}{(V_{AB}^2 + V_{BC}^2 + V_{CA}^2)^2} \quad (3)$$

$$FD\% = 100 \cdot \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6 \cdot \beta}}{1 + \sqrt{3 - 6 \cdot \beta}}} \quad (4)$$

3. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Como já estabelecido, diversos esforços foram feitos no passado para a obtenção de estratégias destinadas para a identificação da origem dos fenômenos sob consideração, isto é, se os mesmos são advindos do suprimento ou do consumidor. Muito embora estes trabalhos tenham sido embasados em princípios sólidos da engenharia, as dificuldades para implementação em campo são extremamente limitantes para a solução da questão. À luz destes fatos, o processo de análise aqui proposto está fundamentado em premissas de fácil utilização em campo, visto que a mesma se baseia, fundamentalmente, numa mera correlação entre os níveis de desequilíbrios presente do lado primário e secundário dos transformadores de suprimento dos mais distintos consumidores.

Uma vez que a metodologia se apoia na correlação entre as tensões de sequência negativa e positiva, assim como também

das correntes correspondentes, vale lembrar que estas grandezas se apresentam fortemente dependentes da conexão do transformador empregado. Diante da diversidade de opções encontradas quando às conexões, para fins deste trabalho, os desenvolvimentos aqui reportados são feitos de forma a considerar que a unidade de transformação empregada se constitui com o seu primário (supridor) em delta e seu secundária (consumidor) em estrela aterrada. Tal premissa encontra sustentação no uso difundido destas conexões para os sistemas em prática. Portanto, outros arranjos que não o explicitado, não se encontram investigados nesta etapa dos trabalhos.

Do exposto segue que a estratégia aqui proposta não se baseia na obtenção de qualquer outro novo indicador, senão uma avaliação do processo de transferência das VTCDs de um lado para outro, do transformador aqui selecionado. Através da análise e observação dos níveis de desequilíbrios de sequência negativa e zero manifestados para distintos tipos e níveis de faltas, impostas de um e outro lado do transformador, é estabelecida um padrão/lógica que conduz a indicativos sobre a solução da matéria ora tratada.

4. ESTUDOS DE CASOS

À luz do exposto, os trabalhos investigativos, de cunho teórico/computacional, foram embasados na caracterização de um sistema elétrico tipo representativo da conexão de uma unidade consumidora constituída por cargas do tipo impedância constante, supridas por uma rede através de um transformador com a conexão pré-definida, ou seja, delta-estrela-aterrada. Assim procedendo, o sistema foi implementado no Simulink/MATLAB e diversos estudos foram conduzidos impondo-se faltas diversas, quer do lado primário, quer do lado secundário. A Fig. 5 representa o sistema simplificado utilizado, cujos parâmetros se encontram na sequência.

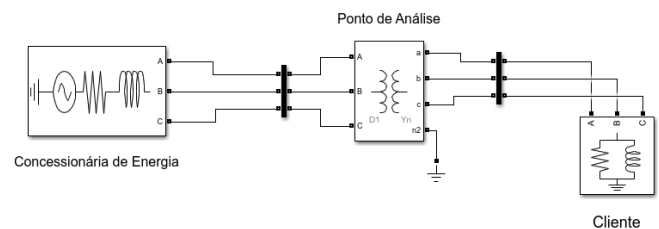


Fig. 5: Sistema Elétrico utilizado para os estudos.

Os parâmetros do circuito estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros do Arranjo Elétrico Utilizado

Equivalente da Concessionária	V = 13,8 kV; S _{cc} = 50 MVA; X/R = 7; f = 60 Hz.
Transformador	Delta-Estrela aterrada; S = 2 MVA; 13,8kV/380V
Cliente	S = 1,6 MVA; F _p = 0,94 ind.

No que tange aos casos avaliados, estes compreendem diversos tipos e locais de manifestação das VTCDs, a saber:

Caso 1 – Falta fase-terra do lado primário do transformador. Este caso foi ainda subdividido em duas situações: falta severa e falta moderada, produzindo, assim, os subcasos 1.1 e 1.2;

Caso 2 – Idem ao caso 1, aplicando-se a falta do lado secundário, produzindo, assim, os subcasos 2.1 e 2.2;

Caso 3 – Falta fase-fase-terra do lado primário do transformador, a qual foi subdividida em: falta severa e falta moderada, produzindo, assim, os subcasos 3.1 e 3.2;

Caso 4 – Idem ao caso 3, aplicando-se a falta do lado secundário, produzindo, assim, os subcasos 4.1 e 4.2;

Caso 5 – Falta fase-fase do lado primário do transformador;

Caso 6 – Falta fase-fase do lado secundário do transformador.

A classificação das faltas em severas e moderadas, para fins deste trabalho, possuem correlação direta com as impedâncias

utilizadas nos curtos-circuitos, as quais, por consequência, determinam os níveis das tensões resultantes na condição de defeitos. Assim, os fenômenos que levaram a tensões finais de aproximadamente 0,8 pu, foram consideradas moderadas. Aquelas que produziram tensões em torno de 0,5 pu foram consideradas severas. Não obstante a tais condições anômalas, vale ressaltar que qualquer outro nível de tensão final poderia ser igualmente utilizado.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados dos trabalhos investigativos, traduzidos na forma dos indicadores de desequilíbrios do lado primário para o secundário, e vice-versa, para as situações de faltas pré-definidas, encontram-se sintetizadas na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados Obtidos

Casos	Tipo de Falta Aplicada	Situação	Primário				Secundário			
			V2/V1	V0/V1	I2/I1	I0/I1	V2/V1	V0/V1	I2/I1	I0/I1
1	Fase A-terra (primário)	1.1-Moderada	0.16134	0.16409	0.16134	1,97E-13	0.16134	5,23E-12	0.16134	5,06E-12
		1.2-Severa	0.32855	0.33415	0.32855	5,00E-13	0.32855	1,09E-11	0.32855	1,08E-11
2	Fase A-terra (secundário)	2.1-Moderada	0.02961	2,38E-13	0.49076	1,78E-13	0.16380	0.1331542	0.49171	0.50003945
		2.2-Severa	0.04989	2,45E-13	0.63462	1,70E-13	0.30600	0.2487512	0.63560	0.64636
3	Fase AB-terra (primário)	3.1-Moderada	0.17238	0.17561	0.17238	3,55E-13	0.17238	8,75E-12	0.17238	8,49E-12
		3.2-Severa	0.42449	0.42945	0.42448	1,17E-12	0.42449	2,09E-11	0.42448	2,00E-11
4	Fase AB-terra (secundário)	4.1-Moderada	0.05169	2,30E-13	0.49436	7,94E-14	0.32208	0.120551	0.49494	0.23174
		4.2-Severa	0.08836	1,58E-13	0.63954	7,33E-14	0.79729	0.2578797	0.64009	0.25900
5	AB (primário)	-	0.99991	1,30E-06	0.99977	1,36E-12	0.99991	7,73E-11	0.99977	7,69E-11
6	AB (secundário)	-	0.10430	1,81E-13	0.85090	1,81E-13	0.96366	3,59E-09	0.85166	3,97E-09

De um modo geral os indicadores de desequilíbrio obtidos através dos procedimentos tradicionais, revelam que:

- As situações envolvendo curtos-circuitos desequilibrados do lado primário do transformador evidenciam que o grau de desequilíbrio das tensões durante a ocorrência da falta (e do VTCD) se apresentaram em níveis muito próximos àqueles desequilíbrios do lado secundário do mesmo transformador;
- Caso as faltas desequilibradas ocorram do lado secundário, durante a manifestação do VTCD, os níveis de desequilíbrios entre os dois lados do transformador se mostram bastante distintas;
- As propriedades acima, portanto, são indicativas de um caminho para o processo da identificação da responsabilidade do fenômeno para transformadores com a conexão aqui estabelecida. De fato, estas constatações se mostram consistentes, como já dito, para faltas fase-terra e também fase-fase;
- No que tange aos desequilíbrios de tensão de sequência zero, esta grandeza evidenciou que, para situações de falta envolvendo a terra, seu valor se mostra também com um promissor meio para a ratificação da origem do fenômeno quando do emprego de transformadores delta-estrela aterrada. Entretanto, a sequência zero da tensão não é se mostra como indicativa para o processo da identificação da origem do distúrbio para faltas que não envolvam a terra;
- Quanto aos desequilíbrios nas correntes, estas são sempre iguais de um e outro lado do transformador, independentemente do lado em que a falta ocorreu. Portanto, estes indicadores, por si só, não oferecem uma estratégia de análise compatível aos objetivos aqui requeridos;
- Por fim, ao se analisar os níveis de desequilíbrios das correntes dos lados primário e secundário, estes também são indicativos de um mecanismo para o processo da identificação. A título de esclarecimento,

observa-se que, quando a falta é do lado primário, os níveis de desequilíbrios das respectivas tensões e correntes são iguais para ambos os lados do transformador. Por outro lado, em se tratando de faltas do ocorridas do lado secundário, os resultados mostram que os fatores de desequilíbrios das tensões e correntes são distintos.

6. CONCLUSÕES

De um modo geral, as investigações conduzidas neste trabalho evidenciaram que, a estratégia proposta para a identificação da origem dos fenômenos VTCDs fundamentada na correlação entre os fatores de desequilíbrios, se apresentou com indicativos promissores para uma resposta à questão da atribuição da responsabilidade dos eventos em foco. De fato, muito embora os estudos tenham se restringido a instalações que utilizam um suprimento elétrico através de transformadores com conexão delta-estrela aterrada, a metodologia baseada na correlação entre os níveis de desequilíbrios presentes no lado primário e secundário, que se mostram de fácil implementação, apontam para estratégias factíveis para uso prático.

Resumindo o conjunto de estudos e constatações feitas, este artigo mostrou que:

- Quando as faltas e os correspondentes efeitos sobre as VTCDs têm origem do sistema elétrico a montante do transformador, os fatores de desequilíbrios das tensões e correntes de sequência negativa são iguais entre si e apresentam os mesmos valores do lado primário e secundário do transformador;
- Por outro lado, quando o evento ocorre do lado secundário, os fatores de desequilíbrios das tensões de sequência negativa são distintos para os dois lados do transformador. Também, ficou constatado que os fatores de desequilíbrios das correntes são iguais para ambos os lados do transformador, porém, diferentes dos respectivos fatores de desequilíbrio das tensões;
- No que tange as componentes de sequência zero quando de faltas envolvendo a terra, tanto do secundário ou primário, estas se mostram significativas para os lados em que as faltas ocorreram. Para o outro lado do transformador os respectivos valores das componentes de sequência zero das tensões não nulos.

Fica, todavia, a ressalva que os resultados encorajadores se apresentam, como já referidos, limitados aos transformadores com a conexão esclarecida (os quais representam a grande maioria das instalações reais). Ainda, embora não tenha sido explorada neste artigo, vale ressaltar que, para as faltas equilibradas, como seria esperado, as propriedades constatadas não se mostram aplicáveis.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Ahn, Seon-Ju, Dong-Jun Won, Yop Chung, and Seung Moon. 2008. "A New Approach to Determine the Direction and Cause of Voltage Sag." In *Journal of Electrical Engineering and Technology*, ed. Journal of Electrical Engineering and Technology. Journal of Electrical Engineering and Technology, 8.
- ANEEL. 2018. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica No Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade Da Energia Elétrica*. Brasil.
- Bollen, Math H. J. 1997. "CHARACTERISATION OF VOLTAGE SAGS EXPERIENCED BY THREE-PHASE ADJUSTABLE SPEED DRIVES." In *IEEE Transaction on Power Delivery*, ed. IEEE. Manchester - UK: IEEE, 6.
- Cabral, José Roberto. 2010. "ANÁLISE NUMÉRICA DE CURTO CIRCUITO UTILIZANDO COMPONENTES SIMÉTRICAS E COMPONENTES DE FASES PARA OBTENIR ÍNDICES DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO." Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FERREIRA, A. A. 2002. "Caracterização e Análise de Variações de Tensão de Curta Duração." UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS-UNICAMP.
- Ferreira, Adrian Ribeiro, José Carlos de Oliveira, Rezende, and Paulo Henrique Oliveira. 2019. "UMA PROPOSTA PARA ATRIBUIÇÃO DE RESPONSABILIDADE DO FENÔMENO VTCD EM INSTALAÇÕES SUPRIDAS COM TRANSFORMADORES DELTA-ESTRELA ATERRADO." In *Conferência de Estudos Em Engenharia Elétrica*, ed. CEEL 2019. Uberlândia - Brasil: CEEL 2019, 6.
- JR, ERNESTO ALBERTO MERTENS, BENEDITO DONIZETI BONATTO, and LUÍS FERNANDO SOUZA DIAS. 2004. "Avaliação Do Sistema Elétrico Quanto Às 'Variações de Tensão de Curta Duração.'" In *XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*, Brasília: XVI SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 14.
- ONS. 2017. *Submódulo 2.8: Gerenciamento Dos Indicadores de Qualidade Da Energia Elétrica Da Rede Básica*. Brasil.
- Passos, Frederico Oliveira. 2015. "LOCALIZADOR DA FONTE DE AMTs BASEADO NAS MEDIÇÕES DE TENSÕES DE FRONTEIRA." UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ.
- Santis, M. De, C. Noce, P. Varilone, and P. Verde. 2017. "Analysis of the Origin of Measured Voltage Sags in Interconnected networks." *Electric Power Systems Research*: 10. www.elsevier.com/locate/epsr.
- Shareef, Hussain, Azah Mohamed, and Ahmad Asrul Ibrahim. 2013. "Identification of Voltage Sag Source Location Using S and TT Transformed Disturbance Power." In *Central South University Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, , 15.
- SILVA, RAFAELA OLIVEIRA DA. 2017. "Análise de Faltas Simétricas e Assimétricas Na Rede Primária de Distribuição Da Universidade Federal Da Paraíba." Universidade Federal da Paraíba.