



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### **Influência do Grupo de Ligação dos TP's dos Conjuntos de Medição na Sensibilidade de Relés de Detecção de Falta à Terra de Alta Impedância nos Sistemas de Distribuição**

<b>Paulo Fernandes Costa</b>	<b>Ugo de Faria Pereira Borel</b>
<b>Senior Engenharia e CEFET-MG</b>	<b>Senior Engenharia e UFMG</b>
<a href="mailto:pcosta@seniorenharia.com.br">pcosta@seniorenharia.com.br</a>	<a href="mailto:ugoborel@ufmg.br">ugoborel@ufmg.br</a>

#### **Palavras-chave:**

Ajustes dos Relés de Falta à Terra  
Conjuntos de Medição  
Faltas à Terra de Alta Impedância  
Sistemas de Distribuição

#### **Resumo**

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo a respeito da influência do grupo de ligação dos TP's dos conjuntos de medição na sensibilidade de detecção de faltas de alta impedância nos sistemas de distribuição. As faltas de alta impedância constituem há vários anos um desafio aos engenheiros de proteção dos sistemas de distribuição, uma vez que as mesmas se apresentam com baixo valor de corrente, presença de harmônicos, ruídos e outros efeitos de difícil identificação.

Existem vários fatores já abordados em outros trabalhos que impedem o ajuste sensível dos relés de falta à terra, para que os mesmos identifiquem a falta de alta impedância. No entanto, são raros os trabalhos sobre a influência dos conjuntos de medição nesta detecção.

Este trabalho enfoca a natureza da falta de alta impedância, as dificuldades de sua detecção, e a partir de um caso real, discute os inconvenientes das conexões dos conjuntos de medição, e as soluções apontadas para que os mesmos não se tornem empecilhos na sensibilidade dos relés que detectam a falta de alta impedância.

## **1. INTRODUÇÃO**

Existe um grande interesse em todo o mundo, no avanço das técnicas de detecção de faltas de alta impedância nas linhas aéreas de uma forma geral, sendo que este interesse é intensificado nas redes de distribuição, onde os riscos ocasionados pelas referidas faltas são muito grandes, para toda a população servida pelas redes.

A falta de alta impedância é uma falta à terra, cujo contato da fase no solo ou outro elemento presente no mesmo apresenta uma impedância (na maioria das vezes resistência) de valor suficientemente elevado para impedir que a proteção convencional opere e elimine a falta. A resistência em questão, pode ser formada pela resistência natural, peculiar ao tipo de falta, associada à resistência do arco formado no ponto de contato da fase.

Existem várias situações que podem caracterizar uma falta de alta impedância, como o contato do condutor fase com árvores, queda do condutor no solo de alta resistividade, queda sobre cercas mal aterradas, queda sobre materiais isolantes como asfalto e outros.

Embora nesta situação a corrente de falta à terra seja pequena, pode originar incêndios e tensões de passo, toque e transferida que causam riscos fatais às pessoas e animais eventualmente presentes, sendo conhecidos vários acidentes com óbitos, no Brasil e no mundo.

A detecção da falta de alta impedância é limitada por vários fatores, que impedem que a proteção de falta à terra seja ajustada com sensibilidade suficiente para detectar correntes reduzidas. Como exemplos podem ser mencionados a presença de cargas monofásicas na rede de distribuição, e o erro natural dos transformadores de corrente, quando na conexão residual.

Neste artigo é tratada a questão da influência da conexão (grupo de ligação) dos TP's dos conjuntos de medição na sensibilidade dos relés de proteção contra falta de alta impedância, assunto de rara ou quase nenhuma literatura. Será mostrado que a conexão usual limita a aplicação de relés de detecção de falta de alta impedância. No texto são também indicados meios possíveis de contornar os inconvenientes.

## **2. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A detecção da falta à terra de alta impedância, tem sido objeto de preocupação e interesse em todo o mundo, por longo período. Particularmente nos últimos trinta anos, muitas pesquisas e estudos foram feitos no Brasil e no mundo visando estabelecer uma metodologia eficiente para detecção segura deste tipo de falta. Várias tecnologias tem sido utilizadas, fundamentadas em informações e registros colhidos durante testes reais, e de campo [1].

Os registros das correntes de faltas à terra em diversas situações de teste e ocorrências reais, revelaram que as mesmas são em geral de baixo valor, variando de valores próximos de zero (queda sobre asfalto seco) a cerca de 75A [1], nos sistemas de distribuição de média tensão.

As correntes possuem em geral um espectro elevado de harmônicos e ruídos, devidos principalmente ao arco formado no contato da fase como o solo, ou outro elemento a ele associado.

Como muitos dos harmônicos e ruídos presentes nos registros estão também presentes em alguma situação de regime normal, é difícil identificar claramente uma falta de alta impedância, principalmente onde existem derivações com linhas monofásicas (linhas rurais), que provocam correntes de seqüência zero em regime normal de funcionamento, e impedem a implementação de ajustes sensíveis da função de proteção de falta à terra.

Muitos dos métodos de detecção utilizam técnicas de processamento digitais de sinais (DSP), com algoritmos que extraem sinais de baixa frequência, sinais de alta frequência, energias ativas e reativas presentes nas correntes de falta à terra, redes neurais com técnicas de aprendizagem lógica *fuzzy*, técnicas de tratamento randômico de sinais, algoritmos utilizando transformadas normais e rápidas de Fourier, *wavelets* [2], relés direcionais sensíveis e outros.

Os algoritmos mais bem sucedidos, combinam duas, três, ou mais das técnicas acima relacionadas. Alguns dos modernos relés digitais, já incorporam técnicas de detecção de faltas à terra de alta impedância, mas não existe até o momento, nenhuma técnica que garante a detecção de todas as faltas, isto é, 100% de sucesso.

Dentro do quadro exposto, verifica-se que enquanto não estão disponíveis as técnicas mais avançadas, os engenheiros de proteção, principalmente dos sistemas de distribuição (onde as faltas de alta impedância são mais frequentes e perigosas), devem utilizar a proteção convencional, extraindo da mesma o máximo de vantagens. Isto requer ajustes os mais sensíveis, possíveis. A limitação dos ajustes é dada por uma série de fatores, como presença de correntes de desbalanço no neutro devido à cargas monofásicas, erro percentual dos TC's de fase quando os relés de terra estão ligados na conexão residual e correntes capacitivas dos ramais adjacentes.

Neste artigo, é tratada a questão da limitação imposta pela conexão dos transformadores de potencial dos conjuntos de medição no ajuste dos relés de detecção de faltas à terra de alta impedância. O artigo é baseado em um estudo real, executado para uma concessionária brasileira.

### 3. DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO

Em relação ao sistema de distribuição de 13.8kV da concessionária, é relatado o seguinte:

- A concessionária implantou nos alimentadores de 13.8kV de seu sistema de distribuição a proteção de falta para terra de alta impedância, tendo em vista o histórico de acidentes elétricos associados a este fenômeno no seu sistema de distribuição.
- A proteção de falta para terra de alta impedância atualmente está ajustada em 15A, 60 segundos, valor este definido através de diversos estudos e testes executados pelo corpo técnico da concessionária.
- Observa-se que este é um dos poucos sistemas de distribuição no país no qual está implantada a detecção de falta para terra de alta impedância, considerado um avanço importante na segurança de pessoas, para prevenção de eventuais acidentes elétricos.
- Por outro lado, parte da medição de energia elétrica dos consumidores alimentados em 13.8kV, é realizada através de conjuntos de medição trifásicos de 13.8/0.115kV com conexão estrela-aterrada no lado primário / estrela-aterrada no lado secundário, associados a medidores de 3 elementos.
- Esta forma de medição é considerada a mais adequada pela concessionária tendo em vista que a utilização de conjuntos de medição em delta aberto, associados a medidores com 2 elementos introduz a possibilidade de furto de energia elétrica, que não é detectado pelos medidores.

- Foi observado que durante faltas à terra em um determinado alimentador de 13.8kV pode ocorrer a operação da proteção de falta para terra de alta impedância de outros alimentadores sem defeito, derivados da mesma barra do alimentador em falta.
- A análise executada pela concessionária identificou como causa, o retorno de corrente de falta para terra através da conexão estrela aterrada do lado primário dos TP's dos conjuntos de medição situados nos alimentadores sem defeito.
- Tendo em vista o estudo elaborado, foi definido pela equipe técnica da concessionária, o número máximo de 10 conjuntos de medição por alimentador, a fim de que o efeito de desligamento intempestivo e indesejado fosse eliminado.
- No entanto, a utilização de somente 10 conjuntos de medição na conexão estrela aterrada no lado primário / estrela aterrada no lado secundário, não atende as necessidades do setor de medição da concessionária uma vez que em um mesmo alimentador pode existir um número superior de consumidores.

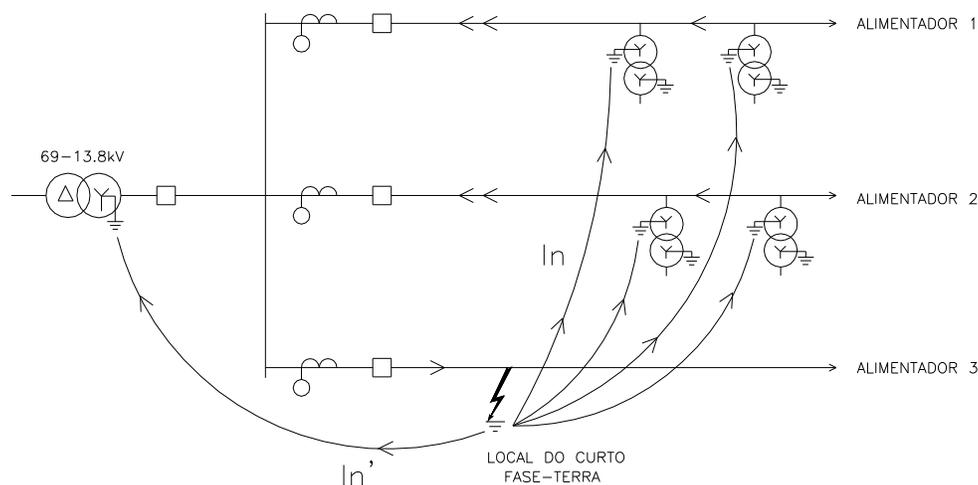
Portanto, torna-se patente a necessidade da adoção de uma solução que concilie o uso da proteção de detecção de falta para terra de alta impedância, com o sistema de medição, de tal forma ambos operem de forma adequada.

#### **4. RETORNO DAS CORRENTES DE FALTA PARA TERRA ATRAVÉS DO ATERRAMENTO DO NEUTRO DOS TP'S DOS CONJUNTOS DE MEDIÇÃO**

A seguir serão feitas considerações a respeito da circulação física da corrente de falta à terra de um alimentador através dos neutros dos TP's dos conjuntos de medição dos outros alimentadores provenientes da mesma barra, quando os referidos TP's encontram-se solidamente aterrado nos lados primário e secundário.

A figura 1 mostra um sistema elétrico de distribuição, alimentado por uma SE 69/13.8kV, composto por um transformador de força e um barramento de 13.8kV do qual partem 3 alimentadores.

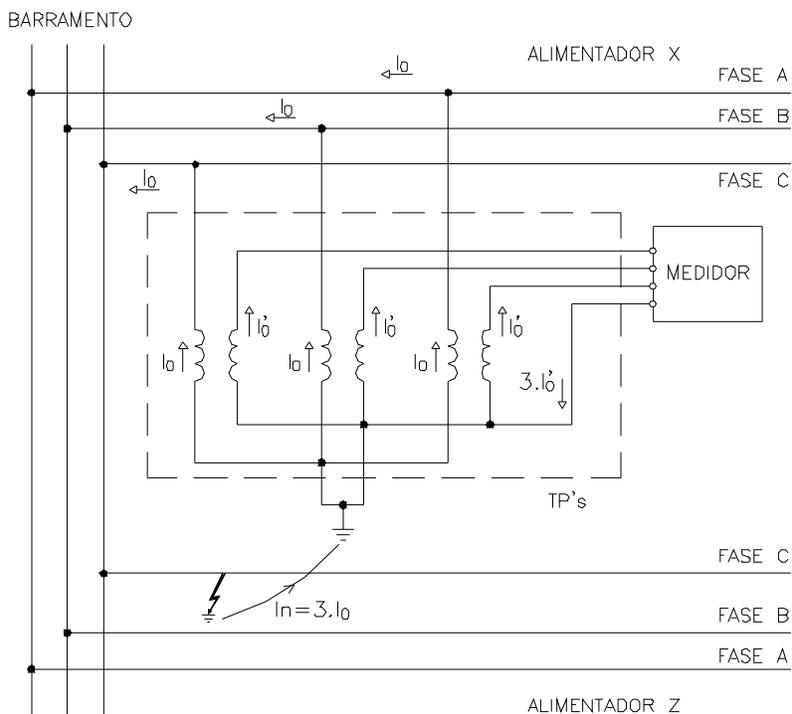
Existem diversos conjuntos de medição na conexão estrela aterrada / estrela aterrada nos alimentadores 1 e 2. A fim de simplificar a explanação, são mostrados apenas dois conjuntos de medição em cada um dos alimentadores 1 e 2, enquanto os conjuntos de medição pertencentes ao alimentador 3 foram suprimidos.



**Figura 1 - Curto-circuito fase-terra no alimentador 3 e circulação da corrente de falta**

Observa-se que, ao ocorrer um curto-circuito fase-terra no alimentador 3, uma parte da corrente de falta retorna diretamente para o neutro do transformador de força, através do próprio alimentador 3, enquanto outra parte volta através dos alimentadores 1 e 2 em sentido contrário, utilizando como caminho o aterramento do neutro dos TP's dos conjuntos de medição.

Na figura 2 verifica-se porque os TP's com conexão estrela aterrada / estrela aterrada permitem o retorno da corrente de falta para terra nos seus alimentadores.



**Figura 2 - TP's com conexão estrela aterrada / estrela aterrada**

Na realidade esta conexão permite a compensação da corrente de seqüência zero do enrolamento primário para o enrolamento secundário, fornecendo um caminho alternativo para o retorno da corrente de falta para terra.

A corrente de seqüência zero de retorno nos alimentadores 1 e 2 é vista pelos relés de falta para terra dos mesmos como uma falta, uma vez que estes relés não são direcionais. Caso os ajustes destes relés sejam atingidos, ocorrerá o desligamento indesejado dos alimentadores.

Quanto maior o número de conjuntos de medição em cada alimentador, maior será a corrente de seqüência zero de retorno, podendo, a partir de um determinado número, sensibilizar o relé de proteção de falta à terra de alta impedância que está ajustado em 15A.

Os estudos realizados pela concessionária, indicaram que o máximo de conjuntos de medição em um único alimentador não deverá exceder de 10, sendo que o ideal seria não ultrapassar 5 conjuntos, levando-se em conta o desequilíbrio natural da corrente de neutro, principalmente pelo uso de linhas monofásicas, derivadas do circuito trifásico.

Entretanto, conforme anteriormente afirmado, este número não atende ao setor de medição em diversas situações onde se exige um número maior de conjuntos de medição por alimentador.

## **5. ALTERNATIVAS POSSÍVEIS PARA SOLUÇÃO DOS INCONVENIENTES**

Conforme apresentado anteriormente, é necessário que seja adotada uma solução que concilie o uso da proteção de detecção de falta para terra de alta impedância, com o sistema de medição, de tal forma ambos operem de forma adequada.

A seguir são apresentadas as diversas soluções possíveis, com os comentários pertinentes relativos a cada uma delas. Observa-se que a solução a ser adotada deve atender aos dois requisitos básicos:

- Conviver com o ajuste do relé de detecção de falta para terra de alta impedância, atualmente ajustado em 15A, 60 segundos.
- Deverá atender aos critérios de uma boa medição, isto é, os medidores deverão funcionar sem distorção de onda, sem risco de furto de energia, risco de serem danificados por surtos de tensão, ou qualquer outro fenômeno indesejado.

Baseado nestes requisitos, são discutidas cinco alternativas:

- a) Retirada do aterramento do lado primário dos TP's do conjunto de medição, mantendo o aterramento do lado secundário;
- b) Retirada do aterramento do lado secundário dos TP's do conjunto de medição, mantendo o aterramento do lado primário;
- c) Utilização de conjunto de medição com conexão V-V<sub>aterrado</sub> (2 TP's ligados entre fases no lado primário, ligação conhecida também como "delta aberto");

- d) Modificação da conexão dos TP's dos conjuntos de medição, utilizando-se estrela isolada no lado primário, estrela aterrada no lado secundário e introdução de um terceiro enrolamento (terciário) em delta de baixa tensão;
- e) Utilização de relés direcionais de proteção de falta para terra de alta impedância nos alimentadores;

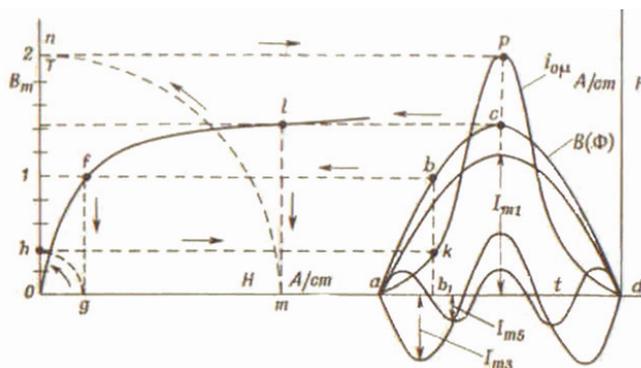
**5.1. - Alternativa A – Retirada do aterramento do lado primário dos TP's do conjunto de medição, mantendo o aterramento do lado secundário.**

Uma alternativa possível, para eliminar a circulação das correntes de falta à terra através do aterramento dos neutros do lado primário dos TP's, seria simplesmente remover o referido aterramento, mantendo-se o aterramento do lado secundário.

No entanto, esta medida apresenta inconvenientes técnicos que impedem a sua adoção. O principal inconveniente está associado ao fato de que ao desaterrar o lado primário, existe uma deformação da tensão secundária aplicada aos medidores que certamente introduzirá erros inadmissíveis na medição.

Isto ocorre porque ao retirar o aterramento do neutro no lado primário do transformador, cessa a circulação da corrente de terceiros harmônicos das correntes de excitação do lado primário, deformando o fluxo magnético, que deixa de ser senoidal, gerando portanto tensões secundárias deformadas.

A figura 3 auxilia no entendimento do fenômeno. Observa-se que com o fluxo senoidal aplicado em um circuito magnético não linear (circuito magnéticos dos transformadores de potencial), gera-se uma corrente de excitação deformada principalmente pelos terceiros harmônicos.



**Figura 3 – Interação entre fluxo magnético do transformador e circuito magnético – forma de onda da corrente de excitação.**

Onde:

$B(\Phi)$  – Fluxo magnético

$I_{0\mu}$  – Corrente de magnetização

$I_{m1}$  – Componente fundamental da corrente de magnetização

$I_{m3}$  – Componente de terceiro harmônico da corrente de magnetização

$I_{m5}$  – Componente de quinto harmônico da corrente de magnetização

Portanto, a existência do fluxo senoidal e por consequência tensão secundária senoidal, exige uma corrente de magnetização deformada com a presença de terceiros harmônicos.

Como tais harmônicos estão em fase (defasamento de  $360^\circ$ ), a única forma de circulação na conexão estrela, é que a mesma esteja aterrada.

A supressão do aterramento elimina a circulação dos terceiros harmônicos. Em decorrência altera-se a forma da corrente de excitação e a forma do fluxo magnético, deformando-se a tensão secundária.

Conclui-se que esta alternativa não é aceitável do ponto de vista do sistema de medição, embora fosse uma solução adequada para eliminar a operação indesejada dos relés de falta para terra de alta impedância.

### ***5.2. - Alternativa B – Retirada do aterramento do lado secundário dos TP's do conjunto de medição, mantendo o aterramento do lado primário.***

Uma solução possível, porém menos aparente, seria a retirada do aterramento do lado secundário, mantendo-se o aterramento do lado primário.

Ao desaterrar o lado secundário, impede-se a compensação de ampères/espira da corrente de seqüência zero nos transformadores. Logo, uma falta para terra no lado primário, não provoca circulação de corrente pelo neutro do lado primário, pois o circuito está aberto para circulação de corrente de seqüência zero.

Esta medida resolveria a questão da operação da proteção de falta para terra de alta impedância. No entanto, também apresenta inconvenientes técnicos para o sistema de medição.

Ocorre que, ao retirar o aterramento do neutro no lado secundário, perde-se a referência de terra para os medidores eletrônicos, que passam a sofrer interferências eletromagnéticas diversas, podendo operar de forma errática, ou mesmo serem danificados por surtos de tensão provenientes da rede ou através de outras fontes eletromagnéticas.

Conclui-se também que esta alternativa não é aceitável do ponto de vista do sistema de medição, embora fosse uma solução adequada para eliminar a operação indesejada dos relés de falta para terra de alta impedância.

### ***5.3. - Alternativa C – Utilização de conjunto de medição com conexão $V-V_{aterrado}$ (Dois TP's ligados entre fases no lado primário).***

Esta alternativa também elimina a operação falsa da proteção de falta para terra de alta impedância dos alimentadores, uma vez que os TP's estão ligados entre as fases no lado primário, não apresentando o aterramento do neutro, e conseqüentemente eliminando a circulação da corrente de seqüência zero durante a falta para terra nos alimentadores.

Esta solução já é utilizada atualmente pela concessionária, porém com os seguintes inconvenientes:

- a) A conexão secundária apresenta uma fase aterrada (fase B), permitindo o furto de energia por consumidores inescrupulosos, uma vez que o medidor não é sensibilizado por cargas conectadas entre fase e terra.
- b) É uma conexão em desuso por quase a totalidade das concessionárias brasileiras, que tem optado pela conexão estrela aterrada / estrela aterrada, associada a medidores de 3 elementos. Observa-se que nestas concessionárias, não é utilizada a proteção de falta para terra de alta impedância.
- c) A opção por este tipo de conjuntos provoca uma anomalia de mercado, uma vez que a demanda por conjuntos de medição na conexão V-V<sub>aterrado</sub> é reduzida, encarecendo tais equipamentos.

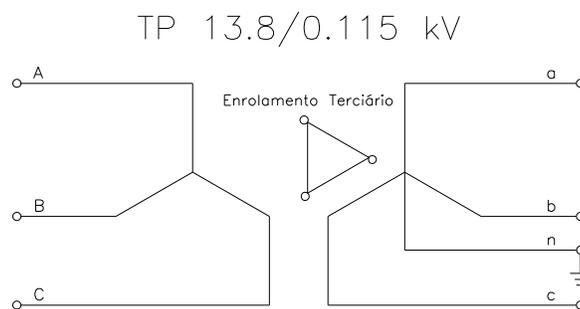
Desta forma, conclui-se que esta alternativa também não é aceitável, tendo em vista os inconvenientes para a medição, não atendendo os requisitos básicos anteriormente apresentados.

**5.4. - Alternativa D – Modificação da conexão dos TP's dos conjuntos de medição, utilizando-se estrela isolada no lado primário, estrela aterrada no lado secundário e introdução de um terceiro enrolamento (terciário) em delta no lado de baixa tensão**

Conforme apresentado no item 5.1 (Alternativa A), a simples retirada do aterramento do neutro do lado primário dos TP's de 13.8/0.115 kV impede a circulação dos terceiros harmônicos e altera a forma de onda de tensão do lado secundário, introduzindo erros inaceitáveis no sistema de medição.

Uma alternativa de se manter o neutro desaterrado no lado primário e ao mesmo tempo possibilitar a circulação de terceiros harmônicos consiste na introdução de um terceiro enrolamento de baixa tensão nos TP's (enrolamento terciário).

Conectando-se os enrolamentos terciários dos três TP's em delta, cria-se a possibilidade de circulação dos terceiros harmônicos e desta forma resolve-se o inconveniente da deformação da tensão secundária. Pode-se então, manter o neutro do lado primário dos TP's sem aterramento, impedindo desta forma a circulação da corrente de falta para terra, possibilitando a operação da proteção de falta para terra de alta impedância sem inconvenientes. A figura 4 mostra a forma de conexão trifásica para os TP's com enrolamento terciário.



**Figura 4 - Conexão dos TP's com enrolamento terciário**

Observa-se que o enrolamento terciário para circulação dos terceiros harmônicos deve ter uma potência de aproximadamente 10% da potência nominal do transformador. Sendo de baixa tensão, o custo adicional de sua implantação é relativamente baixo.

O único inconveniente consiste no fato de que tais TP's com enrolamento terciário não são fabricados na linha normal de produção das empresas fornecedoras dos conjuntos de medição.

Será necessário um determinado período para adaptação dos fornecedores à nova especificação, que certamente exigirá testes de laboratório e de campo, até que o produto seja confiável.

Ressalta-se que a utilização de enrolamentos terciários é uma solução comum aplicada aos transformadores de extra e alta tensão, cujo enrolamento primário é necessariamente em estrela devido aos custos construtivos.

Uma vez contornados estes inconvenientes, esta solução é bastante satisfatória, visto que atende simultaneamente os requisitos de medição e proteção.

### ***5.5. - Alternativa E – Utilização de relés direcionais de proteção de falta para terra de alta impedância nos alimentadores***

Nas discussões anteriores, verificou-se que na ocorrência de um curto para terra em um determinado alimentador, a corrente de retorno pelos neutros dos TP's dos alimentadores sem falta é feita em sentido contrário à corrente do alimentador em falta.

Portanto, pode-se definir o alimentador sob falta através identificação da direção da corrente de falta para terra, que seguirá da barra para o ponto de defeito no referido alimentador.

Os relés direcionais de terra sensíveis (função ANSI 67N) são os dispositivos existentes, capazes de realizar esta tarefa com sucesso. Existem um bom número de fabricantes confiáveis para estes relés, como por exemplo SEL, SIEMENS, ABB, GE, AREVA e outros.

Esta solução, como a anterior, atenderia simultaneamente os requisitos de medição e proteção, uma vez que impede a operação falsa dos relés de falta para terra de alta impedância nos alimentadores sem defeito, e pode-se manter os TP's dos conjuntos de medição com o neutro aterrado nos lados primário e secundário.

Observa-se que a adoção desta alternativa implica na substituição dos relés de proteção de falta para terra atuais (que não são direcionais) por outros direcionais, em todos os alimentadores de 13.8kV da concessionária.

Aparentemente, esta solução é menos onerosa do que a substituição dos conjuntos de medição, uma vez que para cada alimentador é necessário apenas um relé, ao passo que no mesmo alimentador podem existir vários conjuntos de medição.

Requer-se naturalmente um estudo em cada subestação 69/13.8 kV para a instalação dos relés direcionais de terra, que exigem polarização através da tensão de seqüência zero.

Esta polarização geralmente é extraída diretamente de TP's com conexão delta aberto ou através do algoritmo dos relés digitais quando os mesmos são alimentados por TP's na conexão estrela aterrada / estrela aterrada.

A experiência dos autores indica que a proteção direcional de terra sensível opera com maior confiabilidade quando alimentada por TC's do tipo toroidal (TC's *ground sensor*) no qual as três fases passam simultaneamente através da janela do mesmo.

No entanto a instalação de tais TC's, requer uma análise especial para sua montagem, no caso de alimentadores com saídas aéreas, uma vez que não existem dificuldades de aplicação quando os alimentadores possuem saídas através de cabos isolados.

## 6. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ALTERNATIVAS

Dentre as cinco alternativas discutidas anteriormente, somente duas delas atendem as necessidades da concessionária de conciliar a proteção de falta para terra de alta impedância com o funcionamento adequado do sistema de medição de consumo de energia.

A primeira consiste em introduzir um enrolamento terciário nos TP's e a segunda na utilização de relés direcionais de terra sensíveis nos alimentadores.

Aparentemente, a substituição dos relés de terra atuais por direcionais é a alternativa mais viável, visto que utiliza tecnologia consolidada e disponível imediatamente no mercado, além de que possivelmente os custos envolvidos sejam menores.

## 7. CONCLUSÕES

Faltas de alta impedância são faltas à terra que surgem principalmente nos sistemas de distribuição quando uma fase entra em contato com um objeto “quase-isolado”, tal como uma árvore, um automóvel, o asfalto, cruzetas de madeira, solo de alta resistividade e outros. São faltas que apresentam correntes reduzidas, de difícil detecção até o momento.

Sua importância, reside no fato de que apresentam sérios riscos para a segurança do público em geral, bem como elevada probabilidade de produzir incêndios.

Para detectá-las com relés de falta à terra convencionais, os mesmo devem apresentar a máxima sensibilidade permitida pelas condições operacionais do sistema.

Foi identificado que a conexão dos TP's dos conjuntos de medição, quando em “estrela aterrada – estrela aterrada”, impede o ajuste sensível dos relés de terra, prejudicando a detecção das faltas à terra com alta impedância. Foram então discutidas cinco soluções, sendo que apenas duas delas são recomendadas, sendo elas, o uso de relés de terra direcionais e o uso de TP's na conexão “Estrela isolada – triângulo – estrela aterrada”. É recomendado também a utilização de TC's toroidais (conexão “*ground sensor*”), ao invés de se utilizar a conexão residual, para aumento da sensibilidade dos relés.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] Tengdin, J. &, Westfall, R. & Stephan, K. High Impedance Fault Detection Technology. In: PSRC Working Group D15 Report, 1996.

[2] Michalik, M. & Lukowicz, M. & Rebizant, W. New ANN-Based Algorithms for Detecting HIFs in Multigrounded MV Networks. In: IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.23 No.1, 2008.

[3] Kostenko, M. & Piotrovsky, L. Electrical Machines - Direct Current Machines and Transformers, Ed. MIR Publishers, Third Edition, 1968, p. 423-425.

[4] Norma NBR 6855. Transformador de Potencial Indutivo. Abril/1992;