

# Influência do Compensador Estático de Reativos no Localizador de Afundamentos Momentâneos de Tensão baseado em Fluxo de Potência

Wanderley Dias Xavier Filho  
José Maria de Carvalho Filho, Frederico Oliveira Passos

Instituto de Sistemas Elétricos e Energia (ISEE)  
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)  
Itajubá, Brasil  
xavierfilho94@hotmail.com  
fopassos@gmail.com, jmariacarvalho@gmail.com

**Abstract:** In the current scenario of electrical power systems, the Electrical Power Systems Quality (EPSQ) is receiving increasingly notoriety. Among the EPSQ problems, Voltage Sags cause considerable financial losses and locating and mitigating the Voltage Sags sources is one of the biggest challenges for electricity utilities. In this context, the thesis proposed by (Passos, 2015) addresses a locator which qualitatively identifies (the causer agent) the origin of the Voltage Sag source. However, as large and spotted electrical systems are more complex and with a gradual increase in non-linear devices, this work has the burden of evaluating such a locator, through the modeling of a real 92-bus electrical system and with the insertion of a Static Var Compensator. For such a study, the RTDS® (Real Time Digital Simulator) platform will be required to model the system.

**Resumo:** No atual cenário de sistemas elétricos de potência, a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) recebe cada vez mais notoriedade. Dentre os problemas de QEE, os Afundamentos Momentâneos de Tensão (AMTs) causam prejuízos financeiros consideráveis e localizar e mitigar as fontes de AMTs são um dos maiores desafios das concessionárias de energia elétrica. Nesse contexto, a tese proposta por (Passos, 2015) aborda um localizador o qual identifica de forma qualitativa (agente causador) a origem da fonte do AMT. Contudo, como sistemas elétricos de grande porte e malhados são mais complexos e com gradativo aumento de dispositivos não lineares, esse trabalho tem o encargo de avaliar tal localizador, através da modelagem de um sistema elétrico real de 92 barras e com a inserção de um compensador estático de reativos. Para tal estudo, a plataforma RTDS® (Real Time Digital Simulator) será requisitada para modelar o sistema.

**Keywords:** Fault location, SVC, Power quality, Voltage sag, RTDS, Power flow.

**Palavras-chaves:** Localizador de faltas, SVC, Qualidade da Energia Elétrica, Afundamento de tensão, RTDS, Fluxo de potência.

## 1. INTRODUÇÃO

No atual cenário do sistema elétrico brasileiro, a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) vêm adquirindo grande relevância. Dentro desse contexto, os Afundamentos Momentâneos de Tensão (AMTs) são as principais perturbações no sistema elétrico, no qual se refere a falta de qualidade, podendo provocar paradas de processos industriais de alto valor agregado, acarretando em grandes prejuízos financeiros (Filho, 2016).

No que diz respeito a AMT, a normalização dos procedimentos de atribuição de responsabilidades é embrionária no Brasil e consequentemente as concessionárias de transmissão e distribuição, além dos consumidores, sofrem um impasse contratual e judicial no momento de responsabilizar o agente causador da fonte de AMT. Decorrente desse empecilho, vários trabalhos teóricos estão sendo desenvolvidos com o intuito de aprimorar as técnicas de monitoramento, como em (Fonseca, 2009), o qual se baseou nas informações de um

banco de dados de um sistema elétrico real, e por meio de uma rede neural obteve o causador do distúrbio.

Dentro dessa abordagem, em (Passos, 2015) um novo método de localizador de AMTs foi elaborado, no qual monitora periodicamente os níveis de tensão em ambos os lados na fronteira entre dois sistemas elétricos. De tal forma, durante o afundamento de tensão utiliza-se a lógica *Booleana* para avaliar a variação do fluxo de potência antes e durante o distúrbio, para posteriormente atribui uma tomada de decisão em qual lado da fronteira está originando o AMT.

Em conformidade com esse artigo, a implementação de cargas não lineares no Sistema Elétrico de Potência (SEP) e a expansão dos sistema de transmissão e distribuição brasileiro, têm aumentado o fluxo de potência reativa nos condutores. Esse fato acarreta em um aumento das perdas e a declinação do uso adequado da rede. Assim, os dispositivos FACTS (*Flexible AC Transmission Systems*) são propostos para

minimizar tal problema e caracterizam-se por serem equipamentos de eletrônica de potência aplicados a sistemas de transmissão, os quais melhoram a estabilidade do sistema, aumentam a confiabilidade, otimizam a rede e diminuem os custos de investimentos (Oliveira, 2005). Eles possuem uma malha de controle que torna o monitoramento periódico do fluxo de potência e o ajuste das tensões possíveis, com uma rápida capacidade de resposta.

Os compensadores estáticos de reativos ou apenas SVCs (*Static VAR Compensators*) são dispositivos FACTS e dispõe de um conjunto de RCTs (reatores controlados a tiristores) e CCTs (capacitores chaveados por tiristores) que controlam o fluxo de potência nas linhas de transmissão, onde dependendo da exigência, podem injetar ou consumir reativos (Hingorani & Gyugyi, 1999).

O artigo proposto tem o intuito de promover um teste de desempenho do localizador de AMTs apresentado em (Passos, 2015) com a inserção de um SVC no SEP. Para tal, é necessária a modelagem do sistema elétrico base e do dispositivo FACT na plataforma RTDS® (*Real Time Digital Simulator*), além da estruturação de sua malha de controle. O objeto do SVC é manter os níveis de tensão nos barramentos próximos a sua instalação dentro dos limites estabelecidos em regulamentação e corrigir o fator de potência da rede (Hingorani & Gyugyi, 1999). Os resultados obtidos com e sem o SVC serão comparados, indicando a influência que o compensador de reativos pode promover no desempenho do localizador, sem a perda da estabilidade do sistema e permanecendo com a integridade do SVC.

## 2. PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO DO LOCALIZADOR E INTEGRAÇÃO DOS SVCs

### 2.1 Princípios de Operação do Localizador

O novo método de localização de AMTs (Passos, 2015) propõe uma análise distinta e de maneira simplificada da localização qualitativa do distúrbio na rede, ou seja, se ele está a jusante ou a montante da fronteira monitorada. O dispositivo utiliza os dados medidos pelos TPs (Transformadores de Potência) e TCs (Transformadores de Corrente) de proteção localizados no primário ou secundário do transformador de força da subestação e através dos dados obtidos calcula a potência complexa que flui pelo mesmo.

O princípio básico do funcionamento do método é avaliar o comportamento da potência complexa antes e durante o distúrbio na rede. Através de um círculo trigonométrico com raio de 1 p.u., representando os fluxos de ativo e reativos importados e exportados por cada quadrante, o caminho percorrido por essa potência é monitorado em tempo real no RTDS® (Passos, 2015).

A variação da potência complexa no localizador depende integralmente das características da rede. Sistemas com geração concentrada e unidirecional terão um fluxo de energia distinto de outros com fontes em ambos os lados da fronteira, entre outras características físico-elétricas da rede. Assim, o localizador deve ser capaz de identificar o lado do distúrbio em abrangentes tipos de sistemas elétricos.

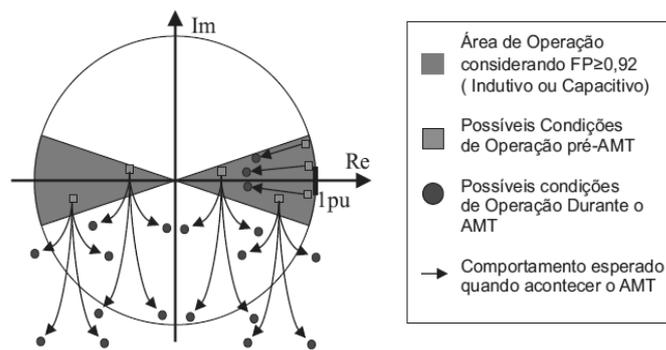


Fig. 1 - Comportamento esperado para o fluxo de potência de faltas localizadas no sistema a montante

Para compreender os resultados do comportamento da potência complexa, a Fig. 1 e Fig. 2 mostram no plano complexo como são esperados o deslocamento do fluxo após a ocorrência de falta a montante e a jusante da fronteira, respectivamente.

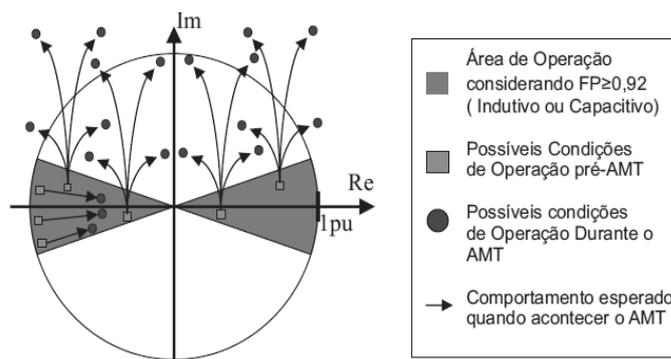


Fig. 2 - Comportamento esperado para o fluxo de potência de faltas localizadas no sistema a jusante

Um fluxograma simplificado do funcionamento do localizador de AMTs é mostrado na Fig. 3. Após as tensões e correntes das três fases no primário do transformador serem medidas, a cada meio ciclo, a potência aparente é calculada e em caso de afundamento, a mesma é instantaneamente comparada com o valor de pré falta. A partir desse momento o comportamento da potência complexa é testada pela lógica *Booleana* e a região do distúrbio é teoricamente localizada. Os valores das tensões e corrente são obtidos a cada meio ciclo e apenas o último antes da detecção do afundamento é utilizado para o início do processo.

O foco principal de (Passos, 2015) foi desenvolver e testar um sistema de lógicas *Booleanas*, no qual o lugar geométrico da potência complexa e o seu comportamento é analisado em casos de anormalidade, e suas equações (1-5) representam esse procedimento.

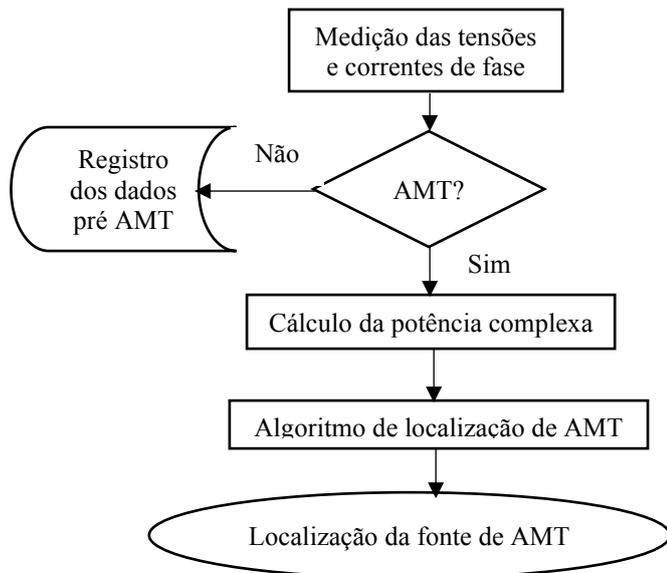


Fig. 3 - Fluxograma do método localizador de AMTs

$$QD = [(Q > 0) \cdot (QP \geq 0)] + [(Q < 0) \cdot (QP \leq 0)] \quad (1)$$

$$M1 = (PP \geq 0) \cdot (|Q| < |QP|) \cdot QD \quad (2)$$

$$J1 = (PP \leq 0) \cdot (|Q| < |QP|) \cdot QD \quad (3)$$

$$M = M1 + \bar{J1} \cdot (\Delta Q < 0) \quad (4)$$

$$J = J1 + \bar{M1} \cdot (\Delta Q > 0) \quad (5)$$

Sendo assim representadas as variáveis independentes, (QD) é a variável que informa a não transição da potência reativa, (Q) é a parte imaginária da potência durante o AMT, (QP, PP) são as respectivas potências reativas e ativas da fronteira medidas imediatamente antes do afundamento ou pré AMT, ( $\Delta Q$ ) é a variação da parte imaginária da potência da condição pré-AMT para durante o distúrbio. A primeira variável booleana (M1) representa AMT a montante, composto por um sistema com geração unitária com fluxo unidirecional de potência. A variável (J1) é a primeira variável booleana que representa AMT a jusante, em um sistema com fonte unitária de geração. Por fim, as variáveis (M, J) são as variáveis que garantem que a origem do afundamento aconteceu a montante ou a jusante, respectivamente (Passos, 2015).

## 2.2. Requerimento para a integração dos SVCs a Rede

Atualmente no Brasil, a integração dos SVCs ao Sistema Interligado Nacional (SIN) é feita pela administração da ANEEL, onde são realizados leilões periódicos e a concessão da obra é transferida para a transmissora com maior deságio em relação ao valor nominal estabelecido pelo órgão regulamentador, respeitando os requisitos mínimos de instalação. Para exemplificar, um desses leilões foi realizado no ano de 2016 com edital em (ANEEL, 2016) para a instalação de um SVC de +300/-150 Mvar na subestação de Fernão Dias, no estado de São Paulo.

O sistema elétrico de transmissão brasileiro é composto por 28 SVCs, sendo que nos últimos 7 anos foram instalados 23 desses (ONS, s.d.), e ainda há uma demanda de instalação de mais 8 equipamentos em um horizonte não muito distante, o que representa uma grande demanda de compensadores estáticos de reativos no presente cenário, principalmente pela ampliação do SIN e entrada em operação das UHEs (usinas hidroelétricas) da região norte que permitirão a inserção de 18 MW no sistema (ONS, 2020).

Para efeito de demonstração, em (Eltamaly, et al., 2019) os autores usam um SVC de +35/-35 Mvar para regular as tensões dos nós do sistema IEEE-9 barras. Em outra ocasião, o trabalho (J. C. de Oliveira, et al., s.d.) desenvolve um estudo de desempenho do SVC de -20/+25 Mvar instalado no barramento de Sinop (MT) para o aprimoramento da tensão no nó alocado e sua vizinhança com diferentes tipos de cenários. Assim, esses dispositivos compensadores estão ganhando notoriedade no atual cenário de sistemas elétricos de potência.

## 3. MODELO ADOTADO DO COMPENSADOR ESTÁTICO DE REATIVOS E SUA OPERAÇÃO

### 3.1 Modelagem do SVC

O compensador exposto nesse trabalho possui um grupo de CCTs e outro de RCTs ligados em delta. Essa configuração se justifica, pois principalmente para os reatores controlados, pela eliminação da componente harmônica de 3ª ordem da corrente e seus múltiplos ímpares (Resende, s.d.). Sua função é estabilizar a tensão de regime permanente no barramento acoplado em 1 p.u., contudo ele pode ser configurado para fixar a tensão em uma faixa próxima a nominal, como estabelece atualmente a ANEEL em (ANEEL, 2018) e a ONS em (ONS, 2016b) para tensões acima de 138 kV, sem que haja punição ao operador do SVC.

O princípio de funcionamento do SVC se baseia na medição dos níveis de tensão do lado a montante do transformador de acoplamento. Esses dados são processados e transformados em p.u., para posteriormente eliminar a componente de sequência negativa. A tensão tratada é subtraída da referência, o qual será de 1 p.u., e assim a susceptância (B) operativa do compensador será obtida, após o valor remanescente da subtração ser processado por um controlador PI. A Fig. 4 mostra o gráfico BxV e a Fig. 5 têm-se o diagrama de obtenção da susceptância do compensador.

O controlador integral tem a função de levar o erro da susceptância o mais próximo de um valor nulo em regime permanente (Nise, 2013), enquanto o ganho proporcional traz uma maior velocidade de resposta (da Motta, 2005), respeitando a estabilidade do sistema.

O valor obtido da susceptância no último processo será retratada no lado de baixa tensão, onde a impedância do transformador de acoplamento é adicionada. Posteriormente a esse processo tem-se a susceptância resultante ( $B_L$ ), a qual representará um valor de ângulo de disparado dos tiristores do

RTC, através de uma função linearizada onde  $B_L$  igual a 1 é análogo a  $90^\circ$  e  $B_L$  igual a 0 é análogo a  $180^\circ$ .

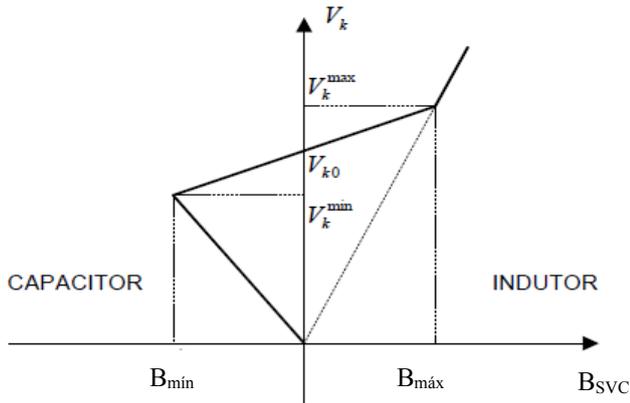


Fig. 4 - Curva de atuação do compensador estático de reativos (de Oliveira, 2005)

O valor de  $B_L$  também serve de referência para o CCT, contudo como ele opera apenas em dois estados, totalmente ativo ou inoperante, somente um valor de  $B_L$  é estabelecido para a mudança de patamar. Assim tem-se uma sincronização entre o RCT e o CCT.

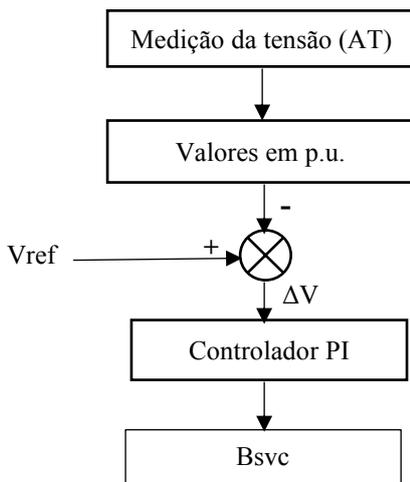


Fig. 5 - Diagrama de obtenção da susceptância do SVC

### 3.2 Comportamento do SVC frente a AMTs

Os compensadores estáticos de reativos foram criados para modificar os níveis de tensão em seu barramento de acoplamento e em suas proximidades, a priori. Contudo, eles devem estar disponíveis quando ocorre alguma perturbação na rede, principalmente em suas imediações, sem a ocorrência de danos físicos em sua composição. Como estabelecido pela ONS em (ONS, 2016a), o controle dos equipamentos SVCs deve contribuir para minimizar as perturbações no sistema elétrico, durante uma falta, além de serem dimensionados para suportar as solicitações de curto-circuito na barra de conexão.

Como tratado nesse artigo, os AMTs são distúrbios decorrentes na maioria dos casos advindos de curto-circuitos, e assim os dispositivos SVCs devem dar suporte à rede, minimizando os afundamentos com a modificação do fluxo de potência reativa do sistema elétrico.

Contudo alguns cuidados são tomados, como explicitado em (ONS, 2016a) que durante uma falta na vizinhança causando uma subtensão no barramento do SVC com a potência reativa equivalente nula, o mesmo deve ser bloqueado de sua função, pois após a eliminação da falta, ocorrerão sobretensões transitórias nos terminais do banco de capacitores.

## 4. ESTUDO DE CASO

Em concordância com o tema exposto, um sistema elétrico real de transmissão e distribuição de um estado brasileiro foi parametrizado na plataforma RTDS®, com a configuração do ano de 2006. O complexo elétrico é composto por 92 barramentos de alta (AT) e média tensão (MT), os quais 13 barras são de 230 kV, 46 barras de 138 kV, 7 barras de 69 kV, 3 barras de 34,5 kV, 21 barras de 13,8 kV e 2 barras de 6,9 kV.

Além dessa composição, foram configuradas 57 linhas de transmissão no modelo  $\pi$ , 8 fontes equivalentes de tensão, onde a potência aparente pode ser importada ou exportada do sistema, 31 transformadores de potência dos mais variáveis níveis de tensão, com o incremento de mais 19 transformadores acoplados a 19 geradores síncronos, subdivididos em 6 subgrupos de unidades geradoras. As 5 primeiras unidades são definidas como UHEs, com turbinas de maior inércia e menor rotação, sendo a primeira unidade composta por 4 máquinas de 55 MVA, a segunda por 2 máquinas de 12,2 MVA, a terceira por 3 máquinas de 45 MVA, a quarta por 3 máquinas de 46 MVA e a quinta por 4 máquinas de 25,2 MVA. A última unidade geradora é representada por uma UTE (usina termoeletrica), com turbinas de maior rotação, havendo 2 máquinas de 186 MVA e uma de 216 MVA.

Adentrando à proposta desse trabalho, a lógica do localizador de faltas proposto em (Passos, 2015) é igualmente implementada na plataforma. Foram instalados 7 dispositivos ao longo da malha do sistema, contudo para esse estudo apenas o dispositivo M1 situado no transformador de fronteira das barras 2100 (230 kV) e 2103 (138 kV) será analisado. Já o dispositivo SVC é fixado na barra 1916 de 138 kV, onde a tensão de regime permanente é igual a 1,046 p.u., e sua taxa de transformação é de 91/-117 Mvar. A Fig. 6 representa o esquema do ramal do sistema.

As faltas ocorrerão em três barramentos com duração de 0,1 segundos, sendo a primeira (F1) localizada a jusante do transformador e do dispositivo SVC, a segunda (F2) ocorrendo entre o terminal de 138 kV do transformador e o SVC e finalmente a terceira (F3) com localidade em um barramento próximo ao terminal de 230 kV. Todas elas serão testadas com as seguintes configurações:

- Falta assimétrica fase-terra (FT), com a fase B lançada a terra com impedância de 0,1  $\Omega$ ;

- Falta assimétrica fase-fase-terra (FFT), com as fases A e B lançadas a terra com impedância de  $0,1 \Omega$ ;
- Falta simétrica trifásica (3FT), com todas as 3 fases lançadas a terra com impedância de  $0,1 \Omega$ ;

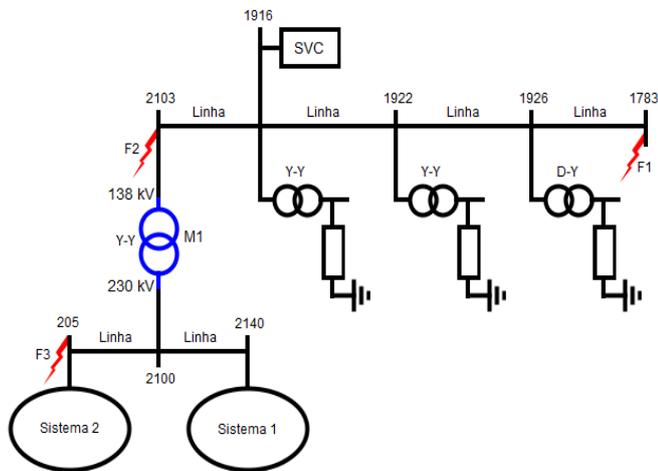


Fig. 6 - Diagrama Unifilar do caso teste

#### 4.1 Cenário com o SVC inoperante

No primeiro cenário testado o SVC desconectado não cumprirá o seu papel de controlar reativos na rede, e assim os AMTs e o comportamento do localizador de faltas será tomado como referência. Nesse contexto as faltas F1, F2 e F3 ocorrem separadamente e em todos os casos o afundamento de tensão é sentido nos terminais do localizador.

A Fig. 7 exemplifica o comportamento menos severo, onde a falta monofásica F1 ocasiona um pequeno afundamento no terminal de 138 kV do transformador e o fluxo de potência reativa se aproxima do valor nulo durante o distúrbio, como mostra a Fig. 8.

A Fig. 8 mostra nitidamente que antes da falta o ramal de 138 kV exportava potência reativa para o sistema elétrico, principalmente pelo efeito Ferranti das longas linhas de transmissão. Contudo, durante a falta esse fluxo de potência é modificado e o balanço de energia reativa que flui pelo transformador de fronteira se aproxima de um zero. Essa atividade presume que o sistema elétrico nessa região é radial e sem geração a jusante, o qual se confirma analisando a Fig. 6.

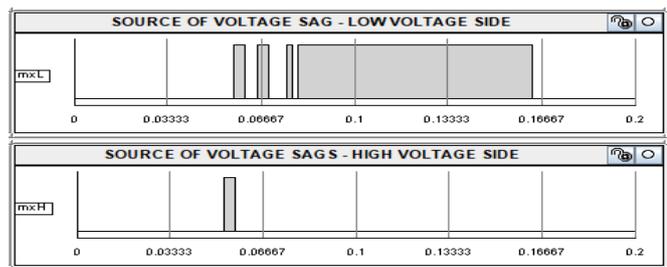


Fig. 7 - Localização do afundamento pelo localizador com uma falta monofásica em F1

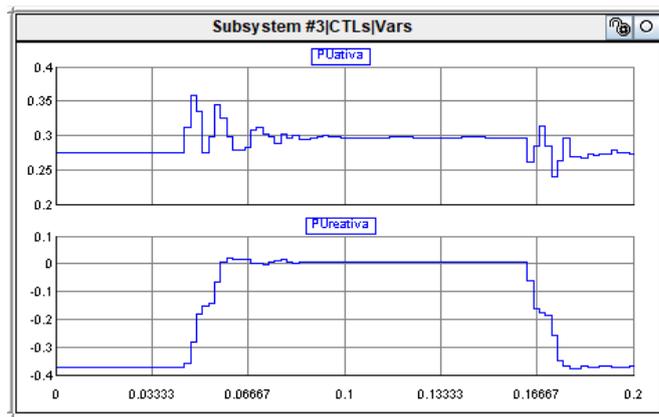


Fig. 8 - Fluxo de potência nos terminais do transformador M1

A Tabela 1 exemplifica os testes do localizador para os casos listados acima com faltas em F1, F2 e F3 e finalmente a comparação com o real local das faltas. A letra H representa distúrbios a montante e conseqüentemente L os a jusante.

**Tabela 1 - Localização das faltas vistas pelo dispositivo localizador**

	F1	F2	F3
FT	L	L	H
FFT	L	L	H
3FT	L	L	H
Real localização das Faltas			
Loc.falta	L	L	H

Assim, após a análise da Tabela 1 conclui-se que o dispositivo localizador detectou as três faltas simuladas para os três cenários, mostrando sua eficácia sem a presença do SVC.

#### 4.2 Cenário com o SVC operante

De forma distinta do que ocorreu no primeiro cenário, o SVC entra em operação nessa ocasião, permitindo que a tensão no barramento 1916 se mantenha em 1,0 p.u. em regime permanente, e as tensões em sua vizinhança sofram uma significativa melhora. Nesse contexto as faltas F1, F2 e F3 são simuladas e ocorrem independentemente uma das outras.

Assim, a Fig. 9 mostra o comportamento do localizador durante a falta monofásica em F1, o qual não ocasiona afundamento no terminal de 138 kV do transformador. Isso deve-se a injeção de potência reativa durante o distúrbio pelo SVC o qual supre as necessidades do curto-circuito.

A Fig. 10 mostra a potência que flui pelos terminais do primário do transformador durante o distúrbio. Primeiramente a ocasião leva o sistema a suprir a demanda de reativos do curto, contudo em um pequeno intervalo de tempo o RTC é controlado, decrementando o nível de potência reativa consumida pelo SVC até apenas o CCT operar. Assim o sistema elétrico atua com o mesmo fluxo de potência reativa pelos terminais de M1 da condição pré falta. Posteriormente

ao curto, o SVC perde o sincronismo e não consegue estabelecer um ponto fixo de operação.

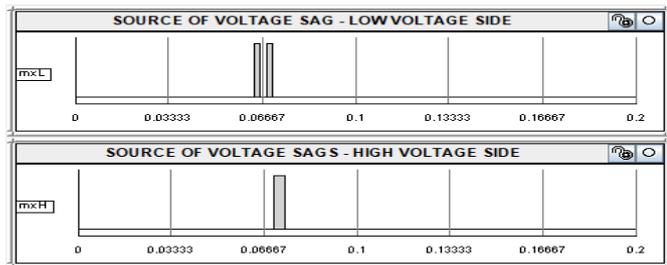


Fig. 9 - Localização do afundamento pelo localizador com uma falta monofásica em F1 com o SVC operante

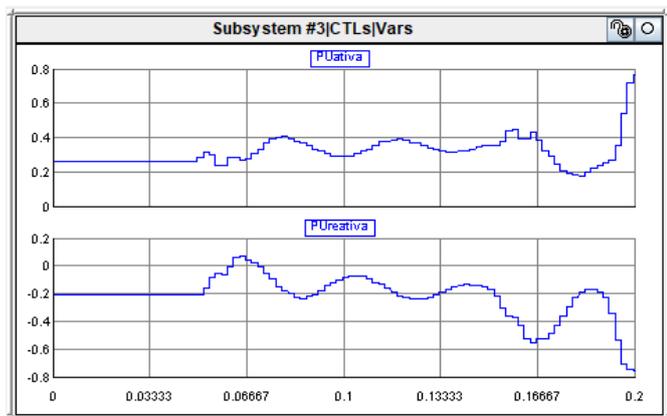


Fig. 10 - Fluxo de potência nos terminais do transformador M1 com o SVC operante

Assim, ao final das simulações têm-se a Tabela 2, no qual os resultados obtidos são comparados com os reais locais das faltas. Acrescenta-se nesse caso a letra N, onde os AMTs não foram detectados pelo localizador ou não foram possíveis obterem resultados consistentes.

Com os resultados da Tabela 2 percebe-se que o SVC contribuiu com o fornecimento de energia reativa para o local da falta, diminuindo a demanda do sistema e ocasionando divergência em alguns casos.

**Tabela 2 - Localização das faltas vistas pelo dispositivo localizador com o SVC instalado**

	F1	F2	F3
FT	N	N	H
FFT	N	L	H
3FT	N	L	H
Real localização das faltas			
Loc.Falta	L	L	H

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos conclui-se que o SVC pode contribuir com a não localização de AMTs em relação a um

cenário sem o dispositivo. Alguns tópicos são detalhados a seguir.

- No primeiro cenário, a localização das faltas indicou que o localizador comportou-se adequadamente com a identificação dos distúrbios.
- No segundo cenário para faltas em F1 os AMTs não ocorreram, principalmente pela localização da falta que ocorreu no final da linha, a jusante do barramento do SVC. Assim a maior parte da demanda de energia reativa foi suprida pelo compensador.
- A falta FT em F2 não permitiu que o localizador identificasse o local do distúrbio, principalmente pela menor severidade do curto e a oscilação da potência reativa.
- Nos outros casos do segundo cenário o localizador foi bem-sucedido, pois o SVC não contribuiu com a injeção de potência reativa.
- O cenário com a inserção do SVC, a potência ativa e reativa portou-se de maneira distinta do primeiro caso.

Assim, no segundo cenário o SVC contribuiu para a não localização de algumas faltas. Outro fator relevante está consistido na potência do SVC, pois quanto maior sua capacidade instalada, maior é sua contribuição para a não ocorrência de AMTs.

## AGRADECIMENTOS

Os autores têm o reconhecimento de agradecer ao suporte da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, <https://www.capes.gov.br/>).

## 6. REFERÊNCIAS

- ANEEL, A. N. d. E. E., 2016. *Edital Leilão N° 05/2016 Anexo 6-20 Lote 20*. Brasília: ANEEL.
- ANEEL, A. N. d. E. E., 2018. *PRODIST, Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica*. Brasília: ANEEL.
- da Motta, D. d. V. P., 2005. *Desempenho dinâmico de sistemas elétricos com compensadores estáticos de reativos*. Rio de Janeiro: UFRJ.
- de Oliveira, L. W., 2005. *Ajuste Ótimo e Coordenado dos Parâmetros do Compensador*. Juiz de Fora: UFJF.
- Eltamaly, A. M., Mohamed, Y. . S., El-Sayed, A.-H. . M. & Nasr Abd, A. E., 2019. *A Modified Techniques of Transmission System by Static Var Compensation (SVC) for Voltage Control*. Bahrain, s.n.
- Filho, J. M., 2016. *Agrupamento de Subestações para Estudo de Afundamentos de Tensão por Análise de Componentes Principais*. Itajubá: UNIFEI.
- Fonseca, M. d. C. P., 2009. *Sistema de apoio à tomada de decisão para atribuição de responsabilidade por perda de qualidade devido à variação de tensão de curta duração*. Belém: UFPA.
- Hingorani, N. G. & Gyugyi, L., 1999. *Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*. Piscataway: IEEE.
- J. C. de Oliveira, et al., s.d. *Compensador Estático de Reativos Controlado a Tiristores: Modelagem e Simulação*. s.l.:s.n.

Nise, N. S., 2013. *Engenharia de Sistemas de Controle*. Rio de Janeiro: LTC.

Oliveira, L. W. d., 2005. *Ajuste Ótimo e Coordenado dos Parâmetros do Compensador Estático de Reativos*. Juiz de Fora: UFJF.

Oliveira, T. C. d., 2008. *Afundamento de Tensão: Avaliação Estatística de Resultados de Medição com Base em Simulações*. Itajubá(Minas Gerais): Unifei.

ONS, O. N. d. S. E., 2016a. *Procedimentos de Rede, Submódulo 2.3 - Requisitos Mínimos para Subestações e seus Equipamentos*. s.l.:ONS.

ONS, O. N. d. S. E., 2016b. *Procedimentos de Rede, Submódulo 2.8 - Gerenciamento dos indicadores de qualidade da energia elétrica da Rede Básica*. s.l.:ONS.

ONS, O. N. d. S. E., 2020. *Sumário do Programa Mensal de Operação - Janeiro 2020*. s.l.:s.n.

ONS, O. N. d. S. E., s.d. *SINDAT*. [Online] Available at: <http://sindat.ons.org.br/SINDAT/Home/ControleSistema> [Acesso em 17 01 2020].

Passos, F. O., 2015. *Localizador de Fontes de AMTs Baseado nas Medições de Tensões de Fronteira*. Itajubá: UNIFEI.

Resende, J. W., s.d. *Compensadores Estáticos de Reativos*. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.