



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GSE/06

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO –VIII**

**GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE**

**EQUIPAMENTO AUXILIAR PARA MANOBRA DE SECCIONADOR**

**Luciano F. da Rocha(\*)  
CEEE GT**

**Charles L Israel  
UPF**

**RESUMO**

A operação de seccionadores de forma remota é um problema para as empresas que operam no sistema elétrico, necessitando sempre a supervisão de um operador local para certificar o êxito da operação. Este trabalho apresenta uma proposta visando solucionar essa questão. Para avaliar a eficiência da proposta, foram realizados testes e ensaios num protótipo em escala real, usando um seccionador de dupla abertura sob várias condições de operação. Das condições testadas resultou em redução da força de atrito entre as partes móveis quando utilizado um motovibrador direcional com frequência ajustável que proporcionou a correta conexão dos contatos, alcançando o objetivo.

**PALAVRAS-CHAVE**

seccionador ; contato elétrico; motovibrador direcional.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

No setor elétrico, processos de automação tem sido aplicados, sobretudo, para garantir o fornecimento de energia, aumentar a confiabilidade do sistema e causar o mínimo de interrupções, atendendo assim às regras estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL. De certa forma, quando se fala de automação do setor elétrico, esse processo está concentrado nas subestações, onde são manipulados e processados os grandes blocos de energia para disponibilizar aos centros consumidores.

Entretanto, dentro de uma subestação de energia elétrica, nem todos os equipamentos são possíveis de automatizar, de forma desassistida. Dentro desse contexto, encontra-se o seccionador (1) (2) (12), um equipamento primordial em subestações de energia elétrica, tanto na distribuição, como na transmissão, e concebido para operar motorizado e ser comandado remotamente, nas funções de isolar, conectar e criar um caminho alternativo para o fluxo de potência, muito embora a sua configuração não tenha tido uma evolução significativa a ser constatada pelas patentes (6), (7), (11), (15) (visulizando que praticamete funcionam do mesmo modo que foram concebidos.

As manobras de abertura e fechamento dos contatos principais, nos seccionadores, têm gerado grandes problemas às concessionárias de fornecimento de energia elétrica (3), (8), (19). Há vários registros de falhas originadas por esse equipamento quando comandado remotamente, havendo assim a necessidade de um operador local para supervisionar a ação telecomandada e certificar se de que esta foi realizada com sucesso. Essas falhas consistem basicamente na má efetivação da conexão dos contatos principais do seccionador, propiciando o surgimento de arco voltaico, desgaste e conseqüentemente, a oxidação dos mesmos, o que acaba prejudicando ainda mais a vida útil dos contatos.

(\*) Rua Ottmar Benno Schultz, n° 3900 – CEP 95.800-000 Venâncio Aires, RS – Brasil  
Tel: (+55 54) 3316-3155 – Fax: (+55 51) 3930-8234 – Email: [eng.lfr@gmail.com](mailto:eng.lfr@gmail.com)

A incerteza inerente às atividades desse equipamento tem impedido o processo de automação completa de uma subestação de energia elétrica. Com o intuito de colaborar para a solução desse problema, apresenta-se, a seguir, um sistema eletromecânico com o objetivo de assegurar a efetiva realização dos contatos principais de um seccionador quando controlados remotamente, tornando desnecessária a supervisão de um operador local. Para validação experimental dessa proposição, foi montado um protótipo de seccionador do tipo dupla abertura, numa das oficinas da subestação Santa Marta, pertencente à CEEE GT, em Passo Fundo, ver FIGURA 1.



Figura 1 – Protótipo do seccionador ensaiado

## 2.0 - PREMISSAS

Para coletar as informações pertinentes ao processo de manobra, de abertura e fechamento, é necessário termos em vista, alguns parâmetros, e conceitos presentes.

### 2.1 Contato elétrico

Ao longo da vida útil estimada, a conexão pode ser estável, sem que haja aumento da resistência ao fluxo de corrente. O aumento da resistência está associado a fatores do meio onde o contato é utilizado. A resistência elétrica de contato de um metal pode ser dada conforme Equação 1 contida na norma (13), (18) Esta norma é dedicada a demonstrar as características do contato (4), (5), (14) elétrico, bem como a elevação de temperatura admissível para manter a integridade de um contato elétrico (17), (18). Salienta também que embora o contato tenha uma área física grande os contatos efetivos são apenas em alguns pontos, ver FIGURA 2

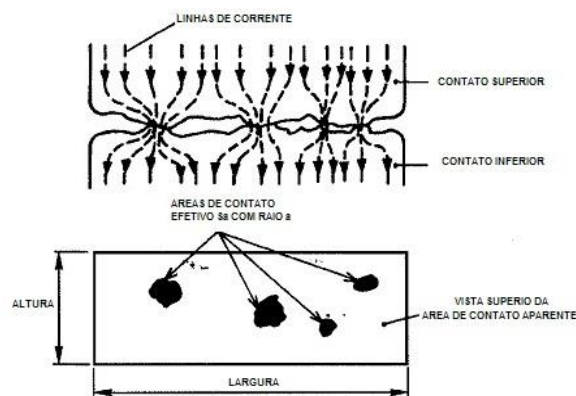


Figura 2 – Demonstração da área de contato elétrico efetivo (13)

Como pode ser observado na Equação 1, os principais fatores envolvidos na resistência de contato são a resistividade do material ( $\rho$ ) que depende do material base do contato, e a resistividade superficial ( $\sigma$ ) dependente do acabamento e da quantidade de impurezas presentes na superfície do contato.

Os demais fatores, como o número de contatos elementares ( $n$ ) e o raio do contato elementar ( $a$ ) dependem da força de compressão entre os materiais, sendo fatores que podem ser trabalhados a fim de evitar a possibilidade do aumento da resistência de contato ( $R_c$ ).

$$R_c = \frac{\rho}{2.n.a} + \frac{\sigma_0}{2.n.a^2} \quad (1)$$

Onde:

$R_c$  = Resistência de contato ( $\Omega$ )

$\rho$  = Resistividade do material ( $\Omega\text{m}$ )

$\sigma$  = Resistividade Superficial ( $\text{Wm}^2$ )

$n$  = Numero de contatos elementares

$a$  = Raio do contato elementar (m)

## 2.2 Ensaio iniciais

Com o objetivo de quantificar a força necessária para o processo de manobra do seccionador, foi realizado um ensaio preliminar no Laboratório de Ensaio Mecânicos da UPF. Foram realizadas 10 manobras de abertura e fechamento, simulando as ações em um seccionador. Considerando o processo de fechamento de maior interesse nesse trabalho. Os resultados dos ensaios realizados estão resumidos na TABELA 1.

Tabela 1 – Força necessária para abertura e fechamento da chave seccionadora.

	<b>Força máx fechar</b>	<b>Força máx. abrir</b>
Valor médio	473,4N	298,5N
Desv. Pad.	33,0N	12,9N

O gráfico obtido pela média dos valores registrados em cada um dos ensaios, tendo como referência comum o ponto máximo (força máxima) que consiste na efetiva ação de fechamento dos contatos ver FIGURA 3.

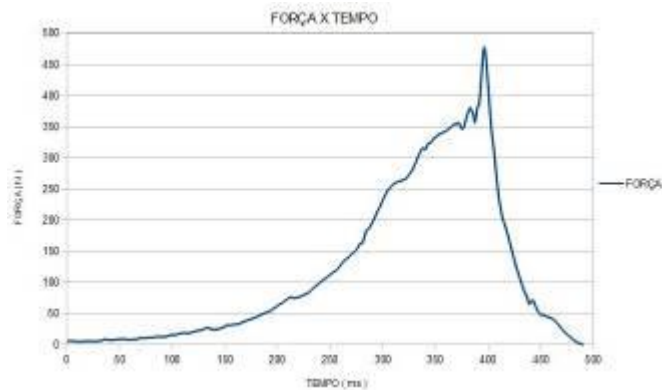


Figura 3 – Força fechamento medida durante o ensaio

O gráfico da FIGURA 4 mostra o torque durante o percurso de fechamento da conexão.

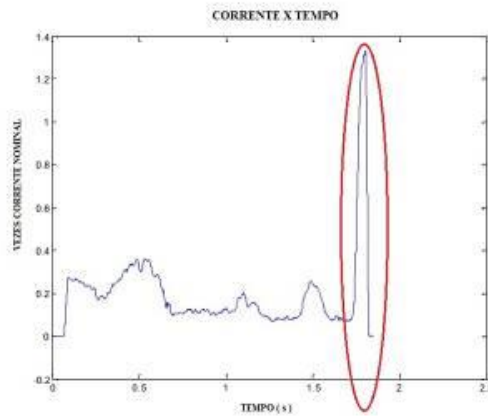


Figura 4 – Torque medido no motor durante o fechamento do seccionador

Analisando somente o tempo em que inicia e termina o pico de corrente do gráfico da FIGURA 4 com o tempo onde inicia e termina o pico de força da FIGURA 3, pode-se constatar que o aumento da força mostra um comportamento similar ao da corrente em praticamente o mesmo intervalo de tempo.

É possível correlacionar os resultados apresentados (10) em que foi obtida a corrente do motor de manobra, através da Equação 2 que demonstra que trabalho, é igual a força multiplicado por tempo que é igual a tensão vezes corrente vezes tempo que também resulta em Joules.

$$W = F \cdot t = V \cdot I \cdot t = [J] \quad (2)$$

### 2.3 Torque Fechamento manual

Para poder avaliar o torque solicitado no protótipo do seccionador, foi utilizado um torquímetro adaptado na tomada de força manual da caixa de redução, o torquímetro de estalo com escala de 25-135 Nm e incrementos de 5Nm. O torque aplicado ao sistema ver FIGURA 5 foi aplicado e ajustado lentamente até conexão total dos contatos do seccionador, com valor registrado de 120Nm. Foram realizadas mais de vinte manobras de fechamento.



Figura 5 – Tomada de força manual para avaliação do torque máximo.

Foi necessário medir o torque para movimentar em vazio. Essa medida leva em consideração apenas a força necessária para movimentar os contatos móveis, somados com as perdas por atrito e de todas as conexões além das perdas nas engrenagens da caixa de redução, obtendo-se um torque máximo de 100Nm.

Com esses valores, pode-se identificar o torque necessário para realizar o fechamento do seccionador, sabendo-se que o torque total é a soma do torque a vazio mais o torque para vencer a força de atrito.

### 2.4 Incrsão do moto vibrador

Para o protótipo, foi confeccionado, numa das oficinas da subestação da CEEE GT, um motovibrador direcional, (9) e (20) utilizando-se como propulsor de rotação um motor de indução trifásico, acionado por um inversor de frequência para variar sua rotação e, assim, alcançar o controle da frequência de vibração. Este foi instalado no varão de movimentação dos pólos ver FIGURA 6



Figura 6– Motovibrador eletromecânico (Protótipo CEEE GT).

## 2.5 Ensaio de esforço mecânico

Para verificar a força necessária para o fechamento foram realizadas quatro situações em que foi medido o torque solicitado para ocorrer o fechamento e a abertura da chave com a correta conexão.

### 2.5.1 Primeira situação

Nesse ensaio os contatos principais do seccionador foram limpos e secos e então aplicada uma camada de óleo. Após isso, realizados vários ciclos de abertura e fechamento, registrando-se os valores dos torques obtidos, cujas médias encontram-se na TABELA 2

### 2.5.2 Segunda situação

Nesta segunda situação os contatos foram limpos com benzina e secoa para remover todo o lubrificante. Também foram executadas várias manobras, até o valor do torque se estabilizar, cujos valores médios estão na TABELA 2.

### 2.5.3 Terceira situação

Neste ensaio, os contatos estão a seco e submetidos a uma vibração através do motovibrador direcional ajustado na frequência de ressonância da conexão. Foram executadas a mesma quantidade de manobras, e seus valores médios obtidos estão na TABELA 2.

### 2.5.4 Quarta situação

Essa condição é apenas informativa, pois, na prática, irá acontecer apenas quando houver manutenção no seccionador, que são os contatos lubrificados e com auxílio da vibração, sendo a condição ideal. Os valores seguem de acordo com a TABELA 2.

Tabela 2 – Torque solicitado com lubrificação dos contatos

DESCRIÇÃO	Torque de Abertura	Torque de Fechamento	UNIDADE
Situação 1 (com lubrificação e sem vibração)	85	110	Nm
Situação 2 (sem lubrificação e sem vibração)	100	120	Nm
Situação 3 (sem lubrificação e com vibração)	50	60	Nm
Situação 4 (com lubrificação e com vibração)	40	50	Nm

Por meio dos resultados das quatro situações apresentadas é possível observar que houve uma redução em mais de 50% no torque solicitado para a manobra de fechamento da seccionadora, que é a mais difícil e que exige maior torque.

## 2.6 Ensaio resistência elétrica

Um dos principais objetivos deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema para auxiliar no correto fechamento dos contatos principais garantindo assim a menor resistência elétrica na conexão. Para avaliar essa ação, optou-se por medir a resistência em diferentes situações

Para isso foi utilizado um micro ohmímetro injetando uma corrente de 200(A) DC, medindo a queda de tensão sobre os contatos, ver FIGURA 7

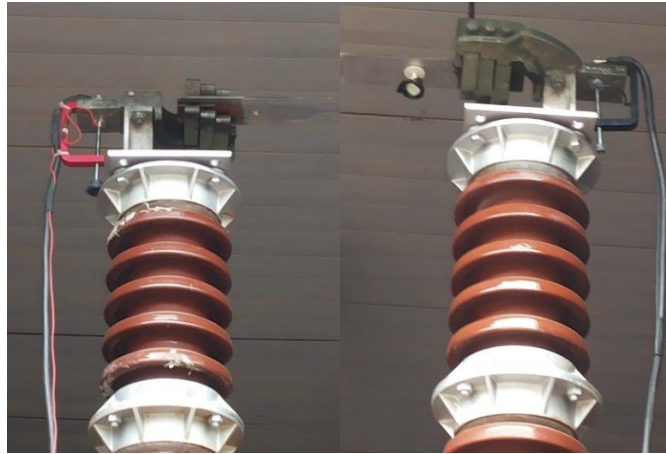


FIGURA 7 Sistema de medição da resistência entre entrada e saída

Foi observada uma melhora na conexão conforme TABELA 3.

Tabela 3– Resistencia elétrica em três condições

CONDIÇÃO	DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
1	Fechado sem vibração	96	$\mu\Omega$
2	Fechado e mantida a vibração	103	$\mu\Omega$
3	Fechado com vibração e retirado a vibração	90	$\mu\Omega$

### 3.0 - CONCLUSÃO

A proposta desse trabalho consiste em apresentar um sistema que permite comandar uma seccionadora de forma remota, uma vez que atualmente, mesmo operada a distância, há ainda a necessidade de supervisão local que, geralmente é feita de modo manual visando garantir o correto fechamento dos contatos. Conforme discutido e apresentado neste trabalho, as alterações no projeto original do seccionador consistem em adicionar um movovibrador direcional com a intenção de minimizar o atrito entre os contatos (20), bem como reduzir as tensões residuais dos mecanismos.

Em virtude das poucas referências bibliográficas ligadas ao tema, principalmente sobre os esforços necessários no processo de manobra (abertura e fechamento dos contatos de uma seccionadora) em condições normais de operação foram realizados os ensaios preliminares com o intuito de direcionar as ações aqui investigadas.

Os quatro ensaios realizados sobre o protótipo permitiu avaliar a influência do atrito na manobra do equipamento (foco no processo de fechamento). Como pode ser visto nos resultados, há uma visível redução do torque solicitado no processo, quando submetido a vibração direcional na frequência de ressonância dos contatos principais, comprovando assim a eficiência da proposta aqui apresentada. A situação 4, descrita na TABELA 2, relativa ao ensaio com os contatos lubrificados e submetidos a vibração apresenta um resultado ainda melhor, entretanto essa não é uma condição de operação normal do equipamento que fica sujeito a todas as ações climáticas.

Em relação aos valores de resistência elétrica dos contatos nas condições expressas, conforme constam na TABELA 3, observa-se a sensível redução de seu valor quando após a ação de vibração, indicando um contato ainda mais efetivo.

Outro ponto importante a salientar é que um projeto inteiramente novo de um seccionador poderia resultar na sua inviabilidade econômica e dificuldades de implantação, uma vez que envolve todo o sistema elétrico brasileiro.

Nas medidas obtidas através do torquímeter verificou-se uma grande diferença da força necessária para manobra de fechamento e abertura, sem e com o auxílio da vibração.

Comprovou-se que a vibração minimiza o atrito existente entre os contatos móvel e fixo, fazendo com que o contato móvel atinja o fim de curso mecânico sem dificuldade. Dessa forma, o contato irá permanecer com baixa resistência elétrica para o fluxo de corrente, e como consequência, a conexão não irá trabalhar em temperaturas acima do recomendado pela norma (13).

## 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABNT NBR 7571. (2011). Seccionadores – Características técnicas e dimensionais (2ª ed.). São Paulo: ABNT.
- (2) ABNT NBR IEC 62271-102. (2006). Equipamentos de alta-tensão Parte 102: Seccionadores e chaves de aterramento. ABNT.
- (3) ABRATE. (2012). Relatório Técnico, GTM/SGME nº 004200. Retrieved 03 01, 2012, from ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS GRANDES EMPRESAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: [www.abrate.org.br](http://www.abrate.org.br)
- (4) AMERICAN SOCIETY MATER. (1992). Friction lubrication and Wear Technology. ASM Handbook.
- (5) ASHBY, M. F., & JONES, D. R. (1998). Engineering Materials An Introduction to Microstructures Processing and Design (2 ed., Vol. 2). Butterworth Heinemann.
- (6) BURDESHEW, T. A., & D.CARMICHAEL, R. (1956). UNITED STATES Patent No. US2810799 A.
- (7) BURDSHAW Thomas A, C. R. (1956). United States Patent No. US2810799.
- (8) C.CARVALHO, A. C. (2012). Reliability of High Voltage Equipment, Resultados do Questionário de Falhas Em Equipamentos de AT, CIGRE WG A3.06: HV EQUIPMENT RELIABILITY. Retrieved 01 2013, 02, from CIGRE: <http://a3.cigre.org/Technical-activities/Presentation-of-Activities>
- (9) CAMARGO, M. N. (2012). Mecânica Vibratória. Santa Maria: Universidade de Santa Maria.
- (10) CARRASCO, A. C. (2005). Sistema de detecção de falhas de manobras em seccionadores de alta tensão baseado em processamento de sinais e RNA. Itajuba: UNIFEI.
- (11) FIELLSTEDT, T. A. (1958). United States Patent No. US2830144 A.
- (12) IEC 62271-102. (2012). High-voltage switchgear and controlgear Alternating current disconnectors and earthing switches (1.1 ed.).
- (13) IEC/TR 60943. (2009). Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals.
- (14) INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION, LTD. (2011). A Vantagem do Cobre, Guia para Trabalhar com o cobre e suas ligas. Retrieved 10 14, 2012, from Procobre: [procobre.org/pt/cobre/tecnologia/2011](http://procobre.org/pt/cobre/tecnologia/2011)
- (15) KOPPITZ Carl G. (1929). United States/Pensilvania Patent No. US1793177.
- (16) LOPES, R. d. (2006). ANÁLISE DE ESTRUTURAS SUJEITAS A VIBRAÇÕES INDUZIDAS POR. Rio de Janeiro: COPPE UFRJ.
- (17) do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro: ABNT.
- (18) Desenvolvimento Eficaz de Produtos. São Paulo: Edgard Blücher.
- (19) PENTEADO B. Josué. (2011). Análise do desempenho de subestação de energia elétrica a partir de critério de confiabilidade. São Carlos.
- (20) SINGIRESU, S. R. (2008). Vibrações Mecânicas (4 ed.). São Paulo: Pearson Prentice Hall.

## 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Luciano Favretto da Rocha;  
Nascido em Passo Fundo-RS em 1977;  
Graduado em Engenharia Elétrica:Eletrônica pela Universidade de Passo Fundo - UPF em 2002;  
Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Passo Fundo - UPF em 2014;  
Trabalha na área de manutenção de subestações e linhas de transmissão na CEEE GT desde 2002.

Charles Leonardo Israel;  
Nascido em Joinville – SC, em 1972;  
Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Passo Fundo - UPF em 2001  
Doutorado em Engenharia Ciência e Tecnologia dos Materiais – UFRGS em 2010;  
Trabalha como Professor Titular na Universidade de Passo Fundo – RS.