



XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CB/GGH/09

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - GGH

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

AValiação DE BARRAMENTOS ESTATÓRICOS PARA HIDROGERADORES ELÉTRICOS SOB ESFORÇOS ELETROMECAÑICOS

Márcio Antônio Sens (*)
Eletrobrás Cepel

Camilla Gonçalves Teixeira dos Santos
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Hélio de Paiva Amorim Júnio
Eletrobrás Cepel

Carlos Frederico Trotta Matt
Eletrobrás Cepel

RESUMO

Envelhecer materiais e sistemas de isolamento elétrico de modo acelerado sempre constituiu anseios dos técnicos em isolamento elétrico. A ideia sempre foi combinar vários esforços para representar os esforços reais de uso, mas de modo mais intenso, para acelerar os efeitos. Costuma-se acelerar o envelhecimento pela elevação da tensão aplicada e da temperatura. Outras vezes aplicam-se ciclos térmicos sobre as barras ou bobinas estatóricas. O ideal seria combinar esforços elétricos, térmicos e dinâmicos sobre os sistemas de isolamento elétrico. Constitui uma dificuldade quantificar o fator de aceleração para os esforços múltiplos. Neste informe apresentam-se resultados apenas para dois destes esforços.

PALAVRAS-CHAVE

Envelhecimento; esforço conjugado; hidrogerador; Isolamento; vibração.

1.0 - INTRODUÇÃO

Quanto aos aspectos de manutenção de hidrogeradores, considera-se de suma importância o bom armazenamento de diversos componentes de alta fragilidade, como de barramentos estatóricos isolados em produtos micáceos. Armazenamentos em condições de alta umidade constituem negligência operativa. Em qualquer caso, antes de se substituir um barramento falhado por outro do estoque de reserva, recomenda-se avaliações criteriosas do estado do isolamento do gerador elétrico, através de sistema de diagnóstico e avaliação da vida remanescente dos equipamentos, como os tratados neste Informe Técnico.

Não foram encontradas literaturas sobre ensaios de envelhecimento acelerado em barramentos isolados para hidrogeradores por esforços elétricos combinados com vibrações mecânicas, simultâneos, em condições de sincronismo, como de fato ocorrem nas máquinas em operação.

A fabricação de barras estatóricas para hidrogeradores pode apresentar falhas devido ao material utilizado na sua construção, ou no processo produtivo, que podem ser detectadas nos ensaios de laboratório, ou mesmo na operação destas máquinas. A cada dia torna-se mais frequente a solicitação, por compradores, de ensaio para verificar as propriedades do material e assegurar a qualidade das barras quando em operação.

As barras estatóricas são qualificadas de acordo com uma análise pericial que inclui avaliações elétricas ou dielétricas e físicas.

O isolamento de uma barra estatórica sofre em diversas e severas solicitações, cuja atuação de maneira individual ou combinada, resulta em uma vasta gama de processos de degradação. O estudo apresentado neste trabalho combina solicitação mecânica - proveniente da vibração de componentes móveis, como o rotor e a bobina - e a solicitação elétrica – em função do campo elétrico entre os condutores e o núcleo.

Para este trabalho o envelhecimento acelerado das barras foi obtido com um vibrador eletromecânico. Aplicou-se uma tensão de 13,8 kV na frequência de 60 Hz na extremidade de duas barras estatóricas isoladas em mica e fibra

de vidro resinada, fixas uma com a outra, e ao mesmo tempo o conjunto foi submetido às vibrações através de uma máquina vibratória – denominado por *shaker*.

Uma das dificuldades encontradas durante o ensaio foi em realizar o sincronismo do sinal elétrico, proveniente da fonte de alta tensão, com o sinal elétrico representativo dos esforços mecânicos, proveniente do cabeçote vibrante da máquina de vibração. O sincronismo entre os dois sinais provoca esforços conjugados de maior desgaste ao isolamento principal da barra. O processo de degradação do isolamento principal é caracterizado pela delaminação – separação entre as camadas superpostas do material isolante - fita de mica - que compõe o isolamento principal, criando cavidades no seu interior.

O sincronismo foi obtido com o uso de um gerador de funções através do seu *trigger*, com isso, possibilitou-se a aceleração do envelhecimento e a obtenção de resultados mais satisfatórios da influência que o envelhecimento causa na deterioração do isolamento elétrico, por simular uma condição real de uso. Na prática, as vibrações são sempre sincronizadas com a rotação da máquina e esta com a frequência da corrente elétrica gerada.

Os efeitos que o envelhecimento causa nas propriedades elétricas são medidos através dos ensaios e análises de investigação experimental. A sequência de ensaios realizados nas barras permitiu fazer uma avaliação da integridade dos componentes elétricos após um determinado número de ciclos de vibração, comparando-se com as condições originais.

Para a detecção de tais falhas foram realizados ensaios como de capacitância e fator de dissipação, resistência elétrica de isolamento, descargas parciais, entre outros, que são eficazes de maneira genérica, não permitindo a localização da ocorrência onde a falha pode se manifestar nos barramentos estatóricos, e ensaios como percussão acústica e detecção do ruído acústico, proveniente de descargas parciais, em que é possível a localização da ocorrência de falha das amostras.

Ensaio de verificação da resistência eletromecânica são conduzidos com o propósito de simular condições reais de uso das máquinas. Durante o funcionamento normal do hidrogerador, as forças eletromecânicas podem levar a danos no isolamento do enrolamento do estator e eventuais falhas. A corrente de carga normal produz forças que configuram a vibração do enrolamento e podem resultar em fadiga ou desgaste do isolamento devido à abrasão. Podem ocorrer degradações por vibração nas ranhuras do estator e/ou nas terminações. Grandes forças de impacto produzidas por curto-circuito podem fragilizar ou quebrar o isolamento. As forças de curto-circuito são geralmente mais prejudiciais na posição de saída do pacote magnético. Os efeitos prejudiciais das forças eletromecânicas podem ser atenuados pelo uso de um sistema de apoio das extremidades e de cunhas eficazes [2].

Medições sistemáticas de descargas parciais foram realizadas para a monitoração do envelhecimento. Essas medições foram feitas com um sistema tradicional e também através de aplicativo disponibilizado no Setor Elétrico. Esse sistema gera um diagnóstico pontual, bem como uma avaliação histórica, o que permite classificar e detectar as descargas parciais, bem como antever falhas prematuras ou inesperadas, provenientes de descargas parciais.

Na prática, como as barras estatóricas são componentes cuja vida útil é longa, o que implica em longos períodos de monitoramento até que se verifiquem mudanças significativas. Com o envelhecimento em laboratório, entretanto, é possível acelerar os efeitos deletérios dos esforços conjugados, para que os ensaios e medições realizados possam diferenciar os resultados obtidos com as amostras novas e envelhecidas. A finalidade dos ensaios e das medições é de quantificar o desgaste, ou a degradação provocada pelo ensaio eletromecânico com o passar do tempo e qualificar o material, ou conjunto de materiais utilizados.

Este Informe Técnico teve o propósito principal de treinamento acadêmico de um dos autores.

2.0 - LEVANTAMENTO DA LITERATURA

Nenhuma literatura nacional foi encontrada sobre os efeitos dos esforços múltiplos no envelhecimento de sistemas de isolamento micáceo, como de barramentos estatóricos para hidrogeradores elétricos, simulando condições reais de uso. Entretanto, destacam-se a existência de uma recomendação técnica para a aplicação de vibrações conjugadas com a tensão aplicada, na frequência da máquina [2], como um guia, não propriamente uma norma técnica e os resultados de um trabalho experimental conduzido no Instituto de Pesquisas de Hidro Quebec – IREQ no Canadá [5].

Na primeira referência [2] apresenta-se apenas a ideia de vibrações de barramentos estatóricos, em esforços de compressão dorsal, conjugadas com a tensão aplicada na frequência da rede, sem qualquer detalhe de como seriam aplicadas, mas informa-se que as vibrações mecânicas devem ser de duas vezes a frequência da rede, 100 Hz para as máquinas europeias e de 120 Hz para máquinas norte-americanas. Já na segunda referência [5] os esforços múltiplos foram obtidos apenas com a tensão e com a corrente elétrica. A corrente gera as vibrações e o aquecimento, e a tensão os esforços transversais de campo elétrico no dielétrico. A corrente foi aplicada de modo cíclico, como previsto pelas tradicionais recomendações da IEEE, quase normativas [4].

Ou seja, no trabalho do IREQ a vibração mecânica foi limitada aos esforços eletromagnéticos da corrente, sem simulação de outras vibrações impostas pela rotação da máquina, como ocorre na prática. Citam-se possibilidades de aplicação da tensão em 400 Hz, mas que nesta etapa não foram efetuadas. Para os níveis de tensão e temperaturas, foram tomados como referências as recomendações dos ensaios de “*Endurance*” [3], também bastante tradicionais. As propriedades dielétricas mostradas foram apenas as variações das descargas parciais, que partiram de 10 nC e subiram para 120 nC após 1000 ciclos térmicos.

Pelo estado das terminações dos barramentos, com marcas esbranquiçadas nas curvas de saída do núcleo

magnético, mostrada na citada referência [5], as descargas parciais detectadas, crescentes, foram justamente provenientes das terminações e das interfaces entre estas e o isolamento principal da parte reta. Os resultados não mostraram envelhecimento e degradação do isolamento do barramento estatórico, mas sim das terminações, que poderiam ter sido restauradas para a continuidade dos experimentos. O Cepel tem encontrado alguns casos semelhantes, com amostras de fabricantes específicos [11], [6]. A decisão de restaurar as terminações ou não, nos ensaios de “Endurance” constitui acordo entre comprador e fabricante. A ideia é estressar o isolamento principal e verificar a suportabilidade deste, e não dos terminais, de um modo geral. Curioso, ainda, foi o nível das descargas parciais no início dos ensaios conduzidos no IREQ [5], em 10 nC, caracterizando amostras bastante ruins, se comparadas com amostras novas normalmente encontradas, que podem ter descargas de apenas 50 pC, ou 200 pC quando novas, ou mesmo após envelhecimento térmico cíclico [6], [7].

3.0 - O BARRAMENTO ESTATÓRICO DE HIDROGERADOR

O barramento estatórico de um hidrogerador se constitui no condutor de cobre isolado em mica, tecido de vidro e resina, que se aloja nas canaletas do núcleo magnético do gerador elétrico. Os geradores podem conter bobinas estatóricas, completas, com três ou mais espiras, ou conter barras simples, que em duplas formam as espiras. Quando barras, ou barramentos, sempre existem modelos inferiores e superiores. O par forma uma espira completa do bobinado magnético do gerador elétrico. Estas barras têm uma parte reta, isolada e blindada, que se alojam propriamente nas ranhuras magnéticas lineares, e pelo menos duas partes curvas, ou de terminações. As terminações possuem isolamento diferenciado da parte reta, pois incorporam sistema de alívio de campo elétrico. Cada fabricante usa suas próprias formulações para configurar o sistema de isolamento terminal. Nas extremidades das barras estatóricas os condutores, múltiplos, são conectados por soldagem em paralelo. Mas ao longo da barra ou da bobina, os múltiplos condutores são isolados entre si.

As seções transversais de algumas barras estatóricas e de uma bobina são mostradas na [Figura 1](#).

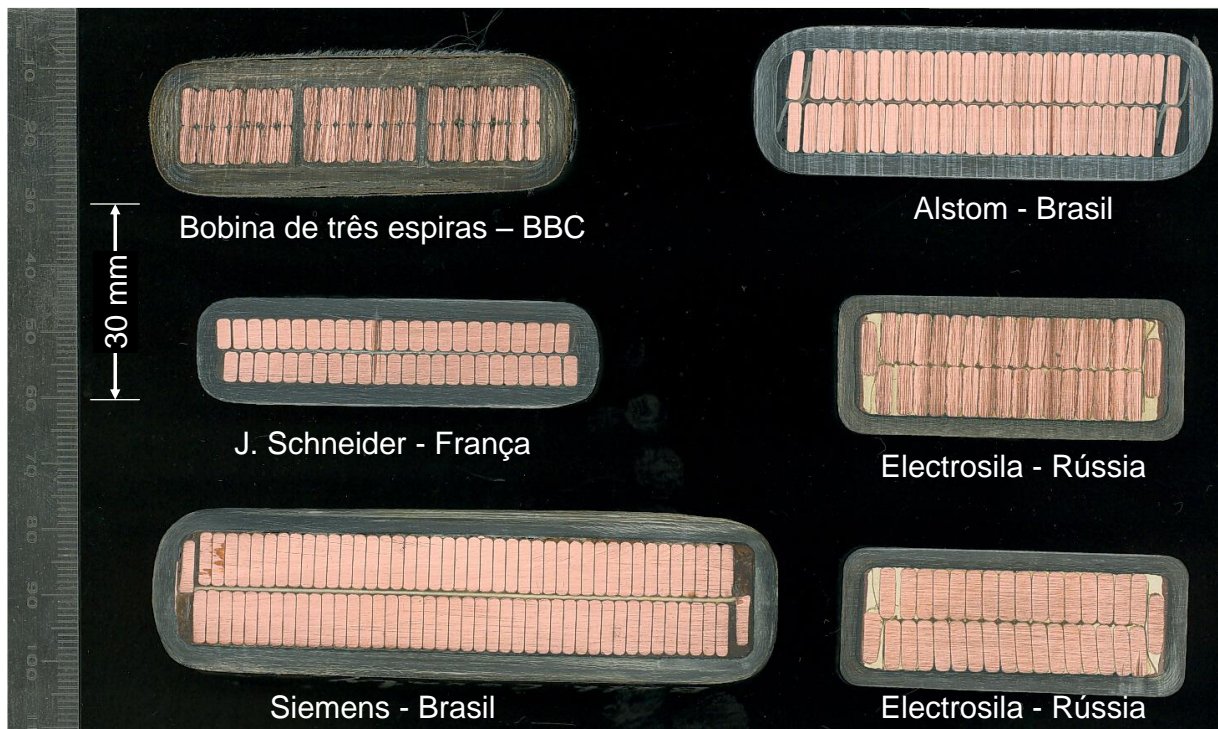


Figura 1 – Seções transversais de algumas barras e bobinas para hidrogeradores

A montagem completa de uma barra estatórica inclui não só o complexo arranjo de condutores transpassados, para reduzir a circulação de correntes parasitas internas às barras, como também um complexo sistema de isolamento e blindagem, como mostrado na [Figura 2](#).

A [Figura 2](#) também mostra a ranhura de aço magnético, onde se alojam as barras estatóricas, os calços, as cunhas e as molas de aperto das barras na ranhura.

A localização destes barramentos estatóricos no núcleo magnético dos hidrogeradores pode ser visualizada na [Figura 3](#), onde se observam as barras inseridas em ranhuras e que existem duas barras por ranhura, uma inferior, que entra primeiro e outra superior, que entra por cima da primeira, por último, na montagem, sendo que se interligam em uma das extremidades.

Na [Figura 3](#) mostra também uma seta grande, que indica, em suas extremidades, o local onde se aloja uma barra inferior e uma barra superior, para a formação de uma mesma espira, entre outros detalhes e particularidades da

montagem dos barramentos estáticos no núcleo de um hidrogerador, em cortesia de um fabricante indicado.

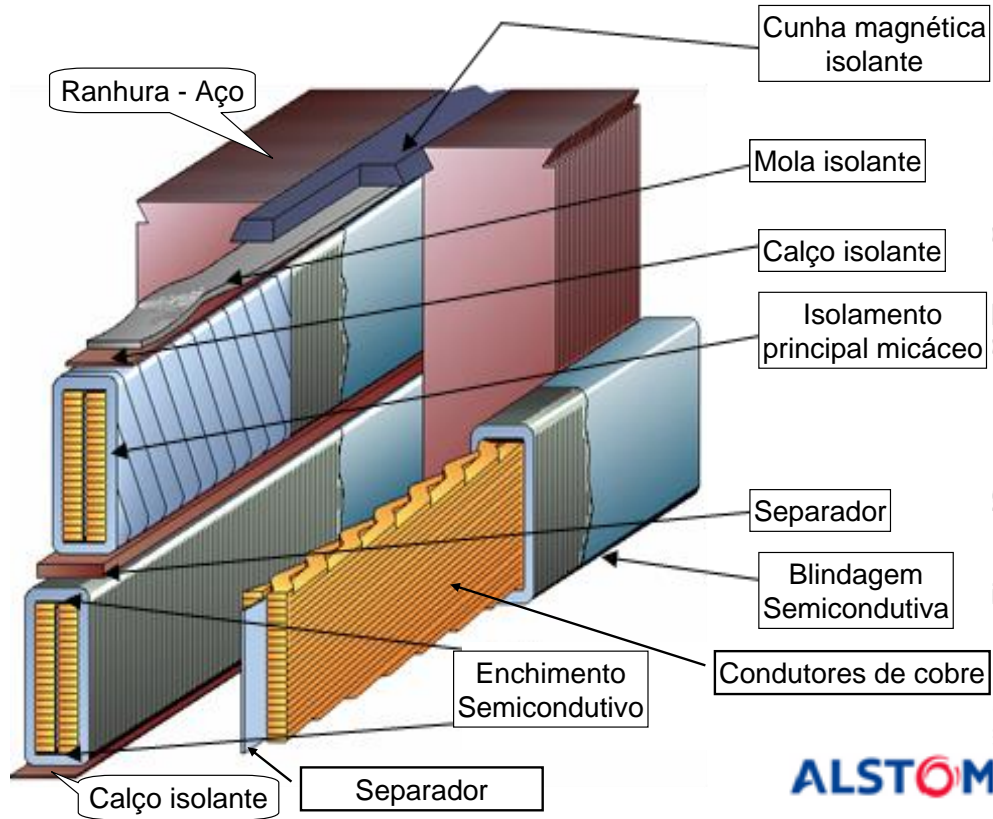


Figura 2 – Detalhes do isolamento e dos múltiplos condutores do barramento estático

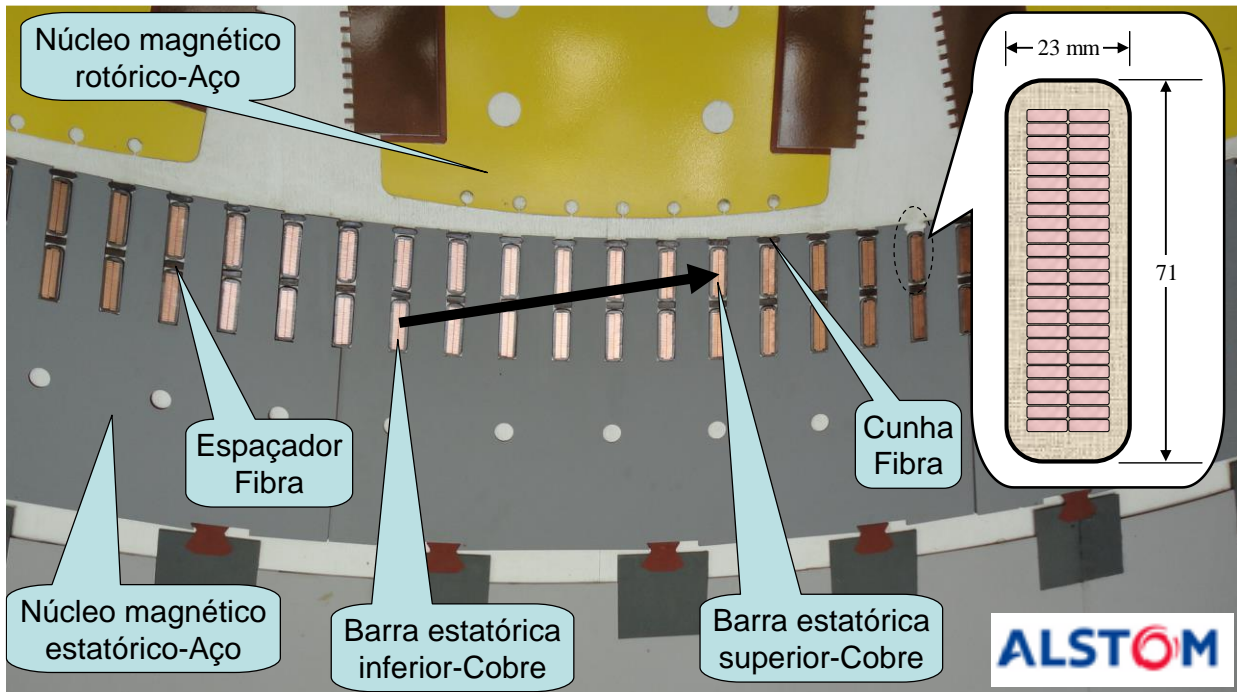


Figura 3 – Inserção das barras estáticas no núcleo magnético do hidrogerador.

4.0 - PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS CONDUZIDOS PELO CEPTEL

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios do Cepel, na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ, e uma das montagens, para aplicação de esforços de compressão dorsal nas amostras de barras, simultaneamente com

tensão aplicada, é mostrado na **Figura 4**. Na **Figura 5** o mesmo sistema para aplicação ainda de corrente e flexão.

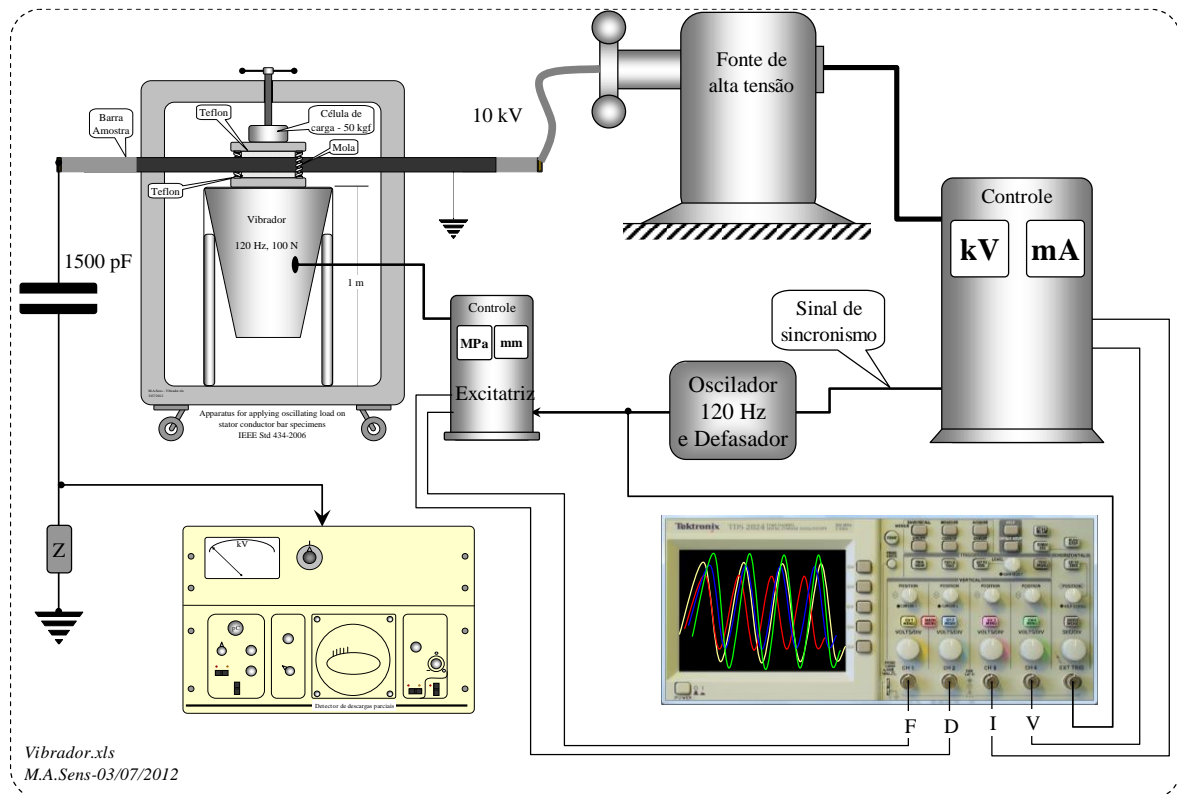


Figura 4 – Circuito de Ensaios para Compressão Cíclica e Tensão Aplicada

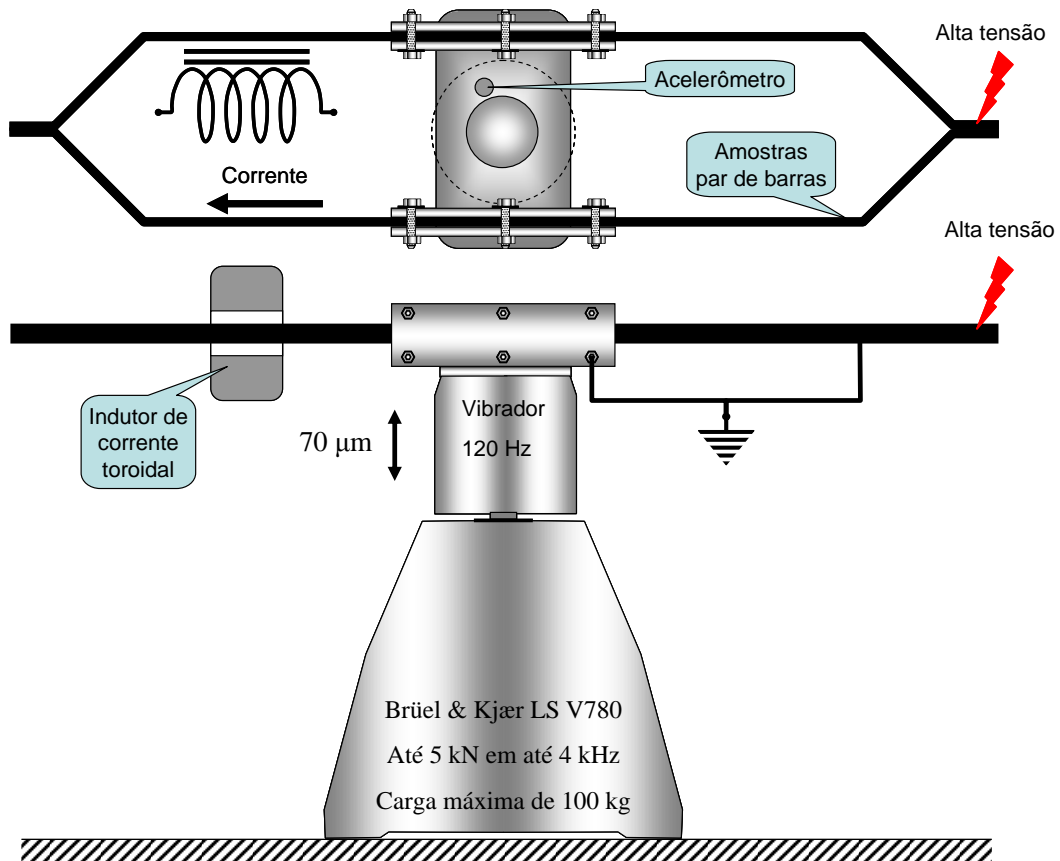


Figura 5 – Sistema de Vibrações Mecânicas de Barras sob Alta Tensão e Corrente de Aquecimento.

A montagem ilustra o sistema de aperto da barra e de medição dos esforços dinâmicos, além das medições de monitoramento elétrico, como de descargas parciais.

O circuito de ensaio também conta com sistema de sincronismo das vibrações mecânicas com a tensão aplicada, incidindo os esforços de compressão sempre no mesmo instante das amplitudes senoidais dos esforços elétricos.

Detalhes sobre a fixação das amostras de barramentos estatóricos no cabeçote de vibrações são mostrados na [Figura 6](#). Com mais detalhes ainda, a [Figura 7](#) mostra o apoio dorsal da barra, por cunhas e molas reais, utilizadas em hidrogeradores, obtidas com os fabricantes.

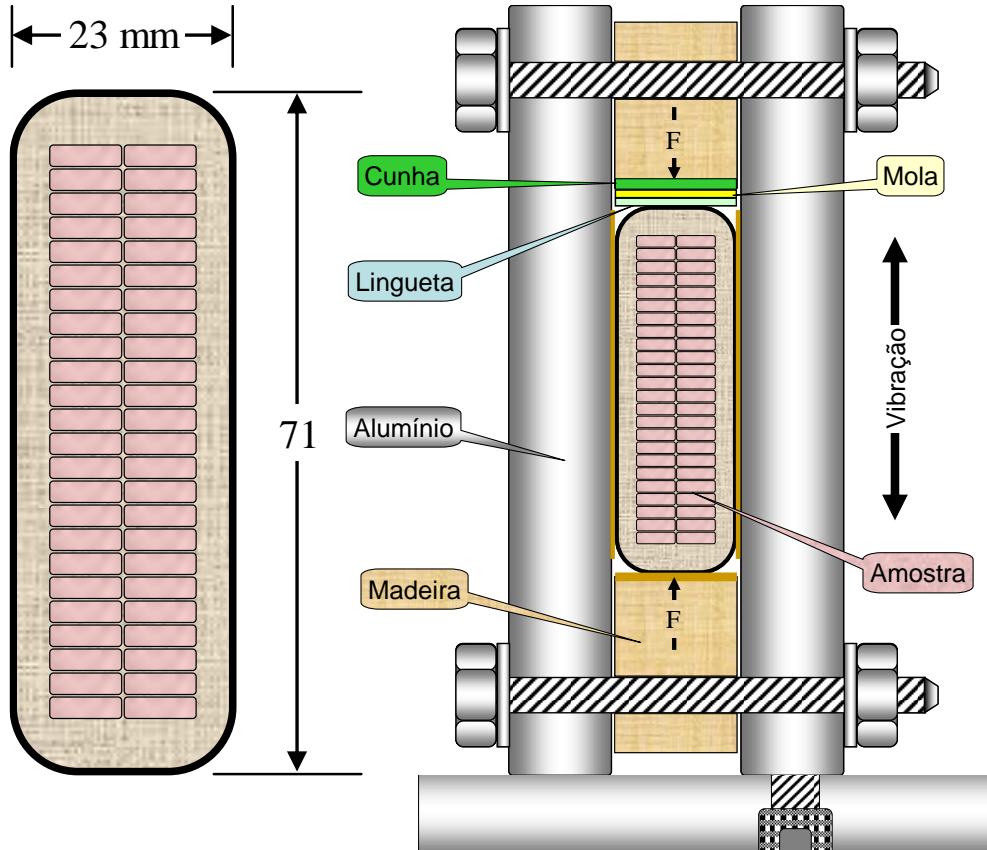


Figura 6 – Modo de Fixação das Barras no Cabeçote de Vibração Mecânica

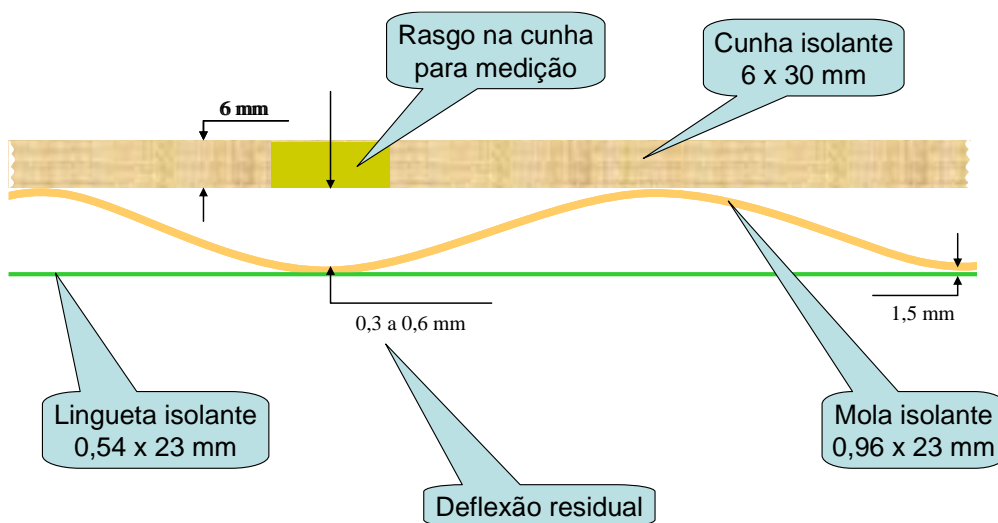


Figura 7 – Detalhe do Apoio Dorsal das Barras – Molas e Cunhas

Destacam-se a seguir alguns ensaios considerados aqui como mais relevantes para os estudos objetos deste

Informe Técnico.

4.1 Ensaio de Percussão Acústica

O ensaio de percussão acústica teve como objetivo identificar pontos de delaminação do sistema de isolamento, através de impactos na barra. O ensaio consistiu na detecção do sinal acústico, através de sensor eletromagnético, ao impacto da esfera de aço com energia de 16 mJ.

4.2 Ensaio de Descargas Parciais

Uma das motivações de se medir as descargas parciais nos ensaios conduzidos, foi determinar a relação entre as descargas iniciais, com a barra nova e após o envelhecimento, na expectativa de se quantificar os possíveis efeitos deletérios das vibrações sobre o sistema dielétrico das amostras de barramentos.

4.3 Ensaio de Capacitância e Perdas Dielétricas em Alta Tensão

Estes ensaios sempre acompanham o elenco de ensaios de caracterização dielétrica de sistemas de isolamento elétrico. Não servem para identificar defeitos localizados, mas degradação generalizada das amostras.

Uma variação na capacitância pode indicar possível delaminação, sobretudo se negativa. Já o fator de dissipação, pode indicar degradação generalizada – envelhecimento, ou até a cura complementar das resinas, quando de crescimento negativo, ou seja, quando diminui com o passar dos esforços envolvente temperaturas acima da ambiente. A simples aplicação da tensão, ou de campo elétrico alternado, gera calor no dielétrico que pode melhorar, ou reduzir, as perdas dielétricas.

5.0 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesta primeira etapa dos trabalhos, dois barramentos estatóricos para hidrogeradores, novos, de boa qualidade, isolados para 13,8 kV, pesando aproximadamente 18 kg, foram selecionados para os ensaios de envelhecimento sob tensão elétrica e sob vibrações mecânicas simultâneas.

Inicialmente as amostras foram caracterizadas em suas propriedades dielétricas e posteriormente foram submetidas a 50 horas de vibrações mecânicas, na frequência de 120 Hz.

Os esforços dinâmicos foram com aceleração de $17 \text{ m/s}^2 = 1,73 \text{ G}$, implicando pressão sobre o dorso das barras da ordem de 50 kPa, com deslocamento vertical de 70 μm de pico a pico.

Simultaneamente aos esforços dinâmicos, as amostras foram submetidas à tensão de 13,8 kV em 60 Hz, na temperatura ambiente, sem aplicação de corrente longitudinal.

Após a aplicação dos esforços conjugados de envelhecimento acelerado, por 50 horas, as amostras foram novamente avaliadas nas mesmas propriedades dielétricas. A [Tabela 1](#) mostra os resultados originais e posteriores aos esforços de envelhecimento sob vibração, incluindo uma barra de referência, nova, número 1015.

Tabela 1 – Resultados dos Ensaio Dielétricos

Propriedade Dielétrica	Amostra original- Nova Barra 1015	Amostra original- Nova Barra 022	Após 50 h de vibrações Barra 022	Após 50 h de vibrações Barra 024
Percussão Acústica (mV)	0,93	0,91	0,99	0,97
Resistência de Isolamento (GΩ)	3,3 em 1 min 17 em 10 min	3,3 em 1 min 17 em 10 min	2,3 em 1 min 10 em 10 min	2,2 em 1 min 11 em 10 min
Resistência da Blindagem (kΩ)	$4,17 \pm 0,52$	$1,35 \pm 0,14$	$1,79 \pm 0,59$	$2,59 \pm 0,39$
Índice de Polarização	5,13	5,12	4,65	4,55
Capacitância em 1000 Hz (pF)	2791	2870	2881	2845
Fator de Dissipação em 1000 Hz e 5 V (%)	0,59	0,56	0,55	0,56
Capacitância em 60 Hz, 8 kV (pF)	2820,7	2906,5	2908,0	2871,6
Fator de Dissipação em 60 Hz, 8 kV (%)	0,5191	0,4963	0,5167	0,4712
Descargas Parciais em 60 Hz, 8 kV (pC)	20,5	10	32	39

Observou-se que, quanto ao nível de descargas parciais, houve leve acréscimo com o envelhecimento, como

mostrado na **Figura 8**. Já quanto às perdas dielétricas, comparando-se as barras envelhecidas por 50 horas com a barra nova, e com a de referência, observou-se melhora nesta propriedade, conforme mostrado na **Figura 9**.

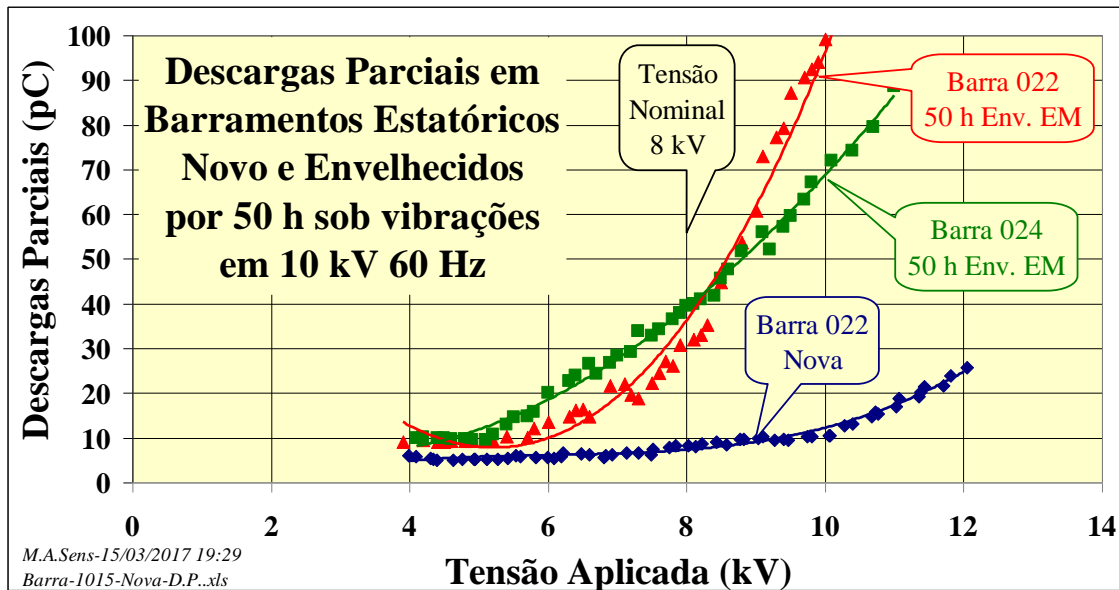


Figura 8 – Descargas Parciais das Amostras Nova e Envelhecidas.

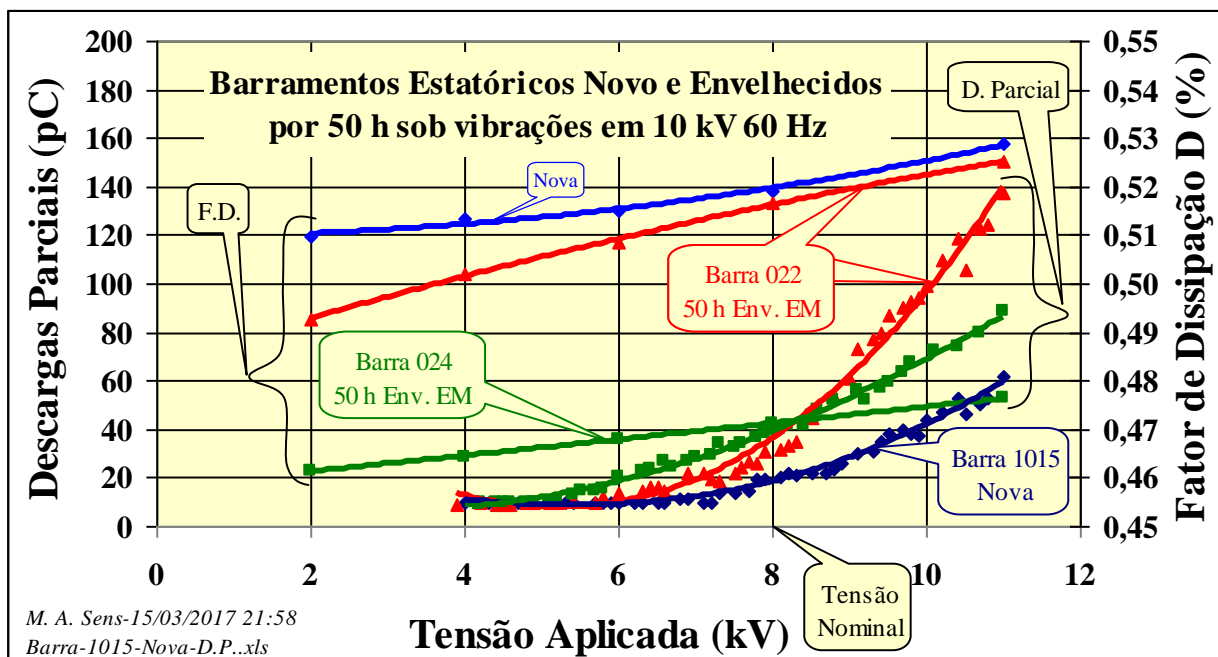


Figura 9 – Descargas Parciais e Fator de Dissipação das Amostras Nova e Envelhecidas.

6.0 - CONCLUSÃO

Foram avaliadas três barras estatóricas para hidrogeradores, para a tensão nominal de 13,8 kV. Uma não envelhecida, nova e duas outras envelhecidas por 50 horas sob vibrações mecânicas simultâneas com tensão aplicada de 60 Hz, na temperatura ambiente de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Inicialmente concluiu-se, pelo reduzido nível das descargas parciais na tensão de operação nominal $=13,8/\sqrt{3} = 8 \text{ kV}$, que a qualidade do sistema de isolamento estava em boas condições, com níveis entre 10 e 20 pC. As barras, depois de envelhecidas por 50 horas sob vibrações, não se mostraram sensíveis aos esforços aplicados, pois as descargas parciais somente subiram para valores entre 30 e 40 pC, como mostrado na **Figura 9**. Com o tempo de energização, provavelmente as barras aqueceram levemente, pelo campo elétrico aplicado, e a resina aglutinante curou-se, já que o fator de dissipação melhorou, como mostrado na **Tabela 1** e na **Figura 9**.

Houve tentativas de se detectar as descargas parciais durante o processo de vibração dos barramentos, sem êxito.

O sistema de vibrações incorpora alguns circuitos eletrônicos que provocam ruídos elétricos elevados, que mascaram a medição de descargas parciais, pois geravam ruídos da ordem de 500 pC. Como as amostras originalmente estavam com níveis de descargas parciais abaixo de 50 pC, não foi possível a detecção nas condições de vibrações dinâmicas.

A técnica tradicional de detecção e de medição das descargas parciais foi utilizada com êxito, em ambiente blindado contra interferências externas (Gaiola de Faraday), com sensibilidade para níveis de descargas inferiores à 1 pC. Mas para isto as amostras tiveram que sair do sistema de vibrações.

As tentativas de medição das descargas parciais através de um programa computacional, também não logrou êxito, devido ao baixo nível das mesmas.

Percebeu-se leve indício de laminação pelas respostas ao impacto, martelinho, mas sem muita significância. As respostas ao impacto das barras envelhecidas foram de 4 a 7 % superiores ao da barra nova, como mostrado na **Tabela 1**.

De um modo geral, concluiu-se que o sistema de ensaio foi pouco agressivo em 50 horas de vibrações, como primeiro ponto avaliado. Espera-se que após 500 horas os efeitos dos esforços conjugados de vibrações e campo elétrico, sincronizados, possam ser percebidos com maior significância.

Concluiu-se, ainda, que os esforços dinâmicos aplicados foram de baixa severidade para um tempo tão curto sobre o conjunto dielétrico. Entretanto, para o sistema de ensaios e para os equipamentos utilizados, não foi possível elevar a aceleração, por desligamento da proteção do sistema de vibrações, que ao atingir correntes superiores a quatro ampères se desligava. Possivelmente, esforços de maior intensidade possam ser aplicados com o mesmo sistema, se apenas uma barra for utilizada, ou com o uso de um segmento de barra, mais leve.

7.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos fabricantes de hidrogeradores, Voight Siemens e Alstom, pelo fornecimento de amostras e acessórios para as montagens experimentais, assim como pela liberação de imagens já publicadas em eventos semelhantes, referenciadas devidamente.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Edson Ueti, Márcio A. Sens, Luiz R. de A. Rodrigues e Sérgio M. G. Damasceno "Método de ensaio para detecção de falhas incipientes em barramentos estatóricos de hidrogeradores". Encontro Nacional de Máquinas Rotativas – ENAM, Angra dos Reis – Rio de Janeiro, outubro de 2012.
- [2] IEEE Std 434, Revision of IEEE Std 434-1991) "Guide for Functional Evaluation of Insulation Systems for AC Electric Machines Rated 2300 V and Above" – "Apparatus for Applying Oscillating Load on Stator Conductor Bar Specimens", 2006.
- [3] IEEE Std. 1043 "Recommended Practice for Voltage Endurance Testing of Form Wound Bars and Coils
- [4] IEEE Std. 1310 "Recommended Practice for Thermal Cycle Testing of Form-Wound Stator Bars and Coils for Large Generators".
- [5] R. Bartnikas and R. Morin "Multi-Stress Aging of Stator Bars With Electrical, Thermal, and Mechanical Stresses as Simultaneous Acceleration Factors" IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 19, No. 4, December 2004.
- [6] Sens, M. A. "Envelhecimento Acelerado de Barras e Bobinas de Hidrogeradores". Seminário do estado da arte em sistema de monitoramento aplicado a máquinas rotativas. Cigré Brasil, Comitê de Estudos de Máquinas Rotativas – CE A1, Eletronorte, Brasília – DF, novembro de 2008.
- [7] Sens, Márcio Antônio "Avaliação de Barras e Bobinas Estatóricas para Máquinas Síncronas e de Geração Elétrica" XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - Grupo de Estudo de Geração Hidráulica – (GGH), Foz do Iguaçu – Paraná – Brasil, 17 a 22 de outubro de 1999.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Márcio Antônio Sens, nascido em 07/07/1951, em Ituporanga – SC, Técnico em Eletromecânica (ETFSC-1970), Engenheiro Eletricista e de Segurança (UFSC-1975) é pesquisador da Eletrobras - Cepel, no Rio de Janeiro – RJ, onde atua desde fevereiro de 1976 em estudos relacionados aos materiais elétricos condutores, dielétricos e magnéticos e também em análise periciais destinadas à identificação de causas de falha em equipamentos e instalações ligadas ao Setor Elétrico Nacional. O Autor também é professor de Materiais Elétricos, Medidas Elétricas, MS-Excel para Engenharia e Transformadores Elétricos no Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense, em Niterói – RJ, onde atua desde março de 1984.