



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Avaliação de Conexões Elétricas para Redes de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

Edson Ueti	Márcio A. Sens	Luiz R. de A. Rodrigues	Sérgio M. G. Damasceno
Cepel	Cepel	Cepel	Cepel
ueti@cepel.br	sens@cepel.br	lrrar@cepel.br	smgd@cepel.br

Palavras-chave

Conexão, Contato Elétrico, Ensaio, Envelhecimento, Térmico.

Resumo

As conexões elétricas para redes de distribuição e transmissão de energia elétrica representam pontos de fragilidade das linhas aéreas e constitui o principal foco de atenção das equipes de manutenção, para a garantia da continuidade e da confiabilidade dos sistemas elétricos.

A crescente demanda por energia, tem requerido uma atenção mais rigorosa sobre o desempenho das conexões elétricas, principalmente em relação à suportabilidade térmica e às perdas elétricas.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar alguns fatores que podem influenciar no desempenho das conexões, apresentando casos distintos de comportamento termoelétrico de diferentes tipos de conexões, através de ensaios normatizados de envelhecimento térmico ou de aquecimento elétrico, que possibilitaram a detecção de defeitos oriundos de processo industrial, ou falhas de montagem das conexões, destacando a importância dos ensaios de qualificação prévia das conexões.

Com vasta experiência na condução de ensaios de qualificação de conexões elétricas, conclui-se que a tradição do fabricante, ou a procedência dos produtos não representam, necessariamente, sinônimos de qualidade e de confiabilidade para os mesmos. Por outro lado, falhas podem ocorrer em qualquer processo industrial e a qualidade final está muito relacionada com as rígidas especificações do comprador, rigor no cumprimento dos procedimentos de montagem, e também com as exigências pelos ensaios de verificação de conformidade.

1. Introdução

Há mais de trinta anos o CEPEL vem realizando ensaios de avaliação e qualificação nos mais diversos tipos de conexões destinadas ao Setor Elétrico, e nos últimos anos, com o aumento da demanda por energia e recapitação de linhas e circuitos, tais avaliações têm se intensificado.

As conexões elétricas, apesar do custo relativamente baixo quando comparado ao custo total de uma linha de transmissão ou circuito de distribuição, são responsáveis pela integridade física e elétrica das linhas. Ao mesmo tempo, as conexões representam pontos de fragilidade do sistema, e na eventual falha eletromecânica destes componentes, os prejuízos podem assumir cifras vultosas.

No presente trabalho, a equipe técnica do Laboratório de Propriedades Elétricas e Magnéticas do CEPEL, pretende compartilhar com o Setor Elétrico, parte da experiência acumulada no decorrer dos últimos dez anos, na condução de ensaios de qualificação de conexões elétricas.

Serão apresentados resultados de ensaios tais como, variações de resistência elétrica e temperatura de conexões submetidas a ensaios de ciclagem térmica, que comprovam o comprometimento elétrico de vários tipos de conexões, para várias bitolas de cabo e tipos de material.

Em seguida discute-se sobre as prováveis causas que poderiam ter levado às falhas apresentadas, e concluindo, são sugeridas recomendações para minimizar ao máximo a ocorrência de tais tipos de falhas.

2. Desenvolvimento

Serão abordados quatro estudos de caso práticos, verificados em ensaios de conexões elétricas diversas, realizados pela equipe técnica do Laboratório de Propriedades Elétricas e Magnéticas, Divisão de Laboratórios Fundação – DVLF do CEPEL.

Os procedimentos de ensaio adotados foram conforme recomendações das normas NEMA CC3 ¹, que foi substituída pela atual ANSI C119.4 ², IEC 61284 ³, NBR 9326 ⁴, NBR 5370 ⁵, e NBR 11788 ⁶.

Na Tabela 1 a seguir são identificados os tipos de conexões ensaiados e os procedimentos adotados.

Tabela 1 – Identificação das conexões ensaiadas e procedimentos normativos adotados

Item	Tipo de Conexão	Tipo de Condutores	Ensaio e Procedimentos
2.1	Conector tipo cunha	Cabos de cobre e alumínio de 16 mm ²	Aquecimento elétrico - NBR 9326 NBR 5370 e NBR 11788
2.2	Luva de emenda a compressão	Cabo ACSR Peace River modificado $\phi = 25,69$ mm	Ciclos térmicos - IEC 61284
2.3	Grampo de ancoragem a compressão	Cabo ACSR Peace River modificado $\phi = 25,69$ mm	Ciclos térmicos - IEC 61284
2.4	Luva de emenda e grampo de ancoragem	Cabo TACSR (termorresistente) Grosbeak 322,3 mm ²	Ciclos térmicos - NEMA CC3

2.1 Conector tipo cunha

Foram ensaiadas seis conexões tipo cunha, ligando cabos de alumínio e cobre de 16 mm², entre amostras novas e retiradas de uma rede de distribuição, com tempo de uso variado, identificadas conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Identificação das conexões tipo cunha para cabos protegidos de 16 mm²

Identificação das Conexões	Condições das Conexões
C1	Usada
C2	Nova
C3	Nova
C4	Usada
C5	Usada
C6	Usada
Cabo de Alumínio (CA7)	Novos
Cabo de Cobre (CC8)	

Inicialmente, foram medidas as resistências elétricas das conexões em temperatura ambiente, e em seguida foi realizado o ensaio de aquecimento elétrico para dois níveis de intensidade de corrente elétrica, e finalizando, foram medidas novamente, a resistência elétrica de cada conexão, em temperatura ambiente, após o ensaio de aquecimento elétrico. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos na medição de resistência elétrica das conexões.

Tabela 3 – Resistência elétrica das conexões tipo cunha para cabos protegidos de 16 mm²

Resistência elétrica das conexões tipo cunha (mΩ)				
Identificação Conexões	antes aquecimento		após aquecimento	
	R _{antes} (mΩ)	T (°C)	R _{após} (mΩ)	T (°C)
C1	1,76	25,0	1,77	25,5
C2	1,67	25,0	1,70	25,5
C3	1,66	25,3	1,68	25,6
C4	1,68	25,1	1,76	25,7
C5	1,84	25,0	2,60	25,5
C6	1,58	25,1	1,61	25,5
NBR 5370	Temp. Amb. 25,0 °C		Temp. Amb. 25,5 °C	

Conforme mostrado na Tabela 3, a resistência elétrica das conexões antes do ensaio de aquecimento elétrico, resultou em média de 1,7 mΩ, e após o ensaio de aquecimento, a resistência elétrica média das conexões foi de 1,9 mΩ. Verificou-se também que as resistências C1 e C5 (usadas), estavam acima da média da resistência elétrica das outras conexões, antes e após o ensaio de aquecimento.

Foram aplicados ao laço sob ensaio, mostrado na Figura 1, intensidades de corrente elétrica de 78 A e 90 A, por pelo menos uma hora, até a estabilização das temperaturas dos condutores e conexões. Os resultados do comportamento térmico das conexões podem ser vistos nas Figuras 2 e 3.



Figura 1 – Laço com conexões tipo cunha na área de ensaio e conector em detalhe

Pelos gráficos apresentados nas Figuras 2 e 3 a seguir, verificou-se que as conexões usadas C1 e C5, ultrapassaram os valores de temperatura do cabo de alumínio CA7, durante todo o ensaio. O restante das conexões apresentaram temperaturas abaixo da temperatura do cabo de alumínio e acima da temperatura do cabo de cobre.

A conexão C5 encontrava-se com aproximadamente 80 °C, ainda em elevação, ao final do período de estabilização com corrente aplicada de 78 A. Após a elevação da corrente para 90 A, a conexão C5 chegou a atingir aproximadamente 190 °C, voltando a cair abruptamente para o patamar de 71 °C, permanecendo nesta temperatura, ao final do período de estabilização com corrente aplicada de 90 °C. O comportamento da temperatura da conexão C5 pode ser atribuída à camada de oxidação presente na conexão, e que foi rompida devido à elevação de temperatura da conexão, já que a mesma era reutilizada e foi montada sem qualquer procedimento de limpeza, ou pode ser atribuída, também, à acomodação mecânica das partes do conector, devido à elevação da temperatura acima do normal.

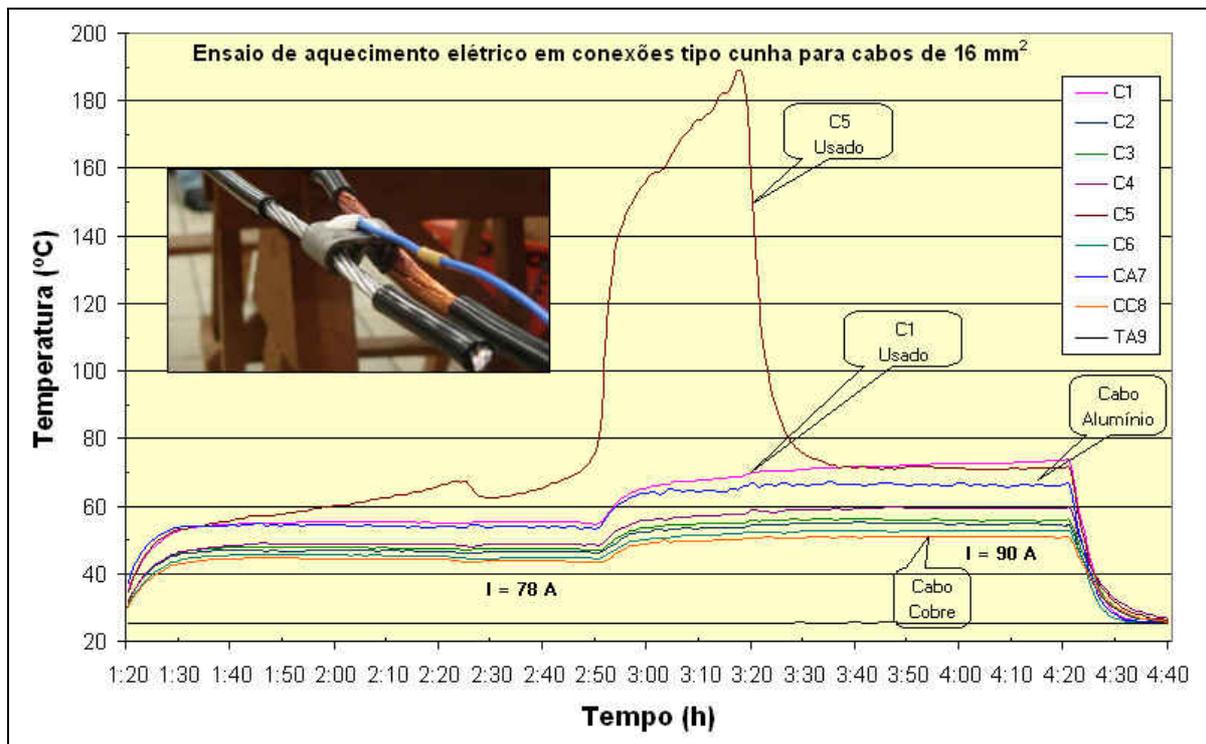


Figura 2 – Comportamento termoeétrico das conexões tipo cunha

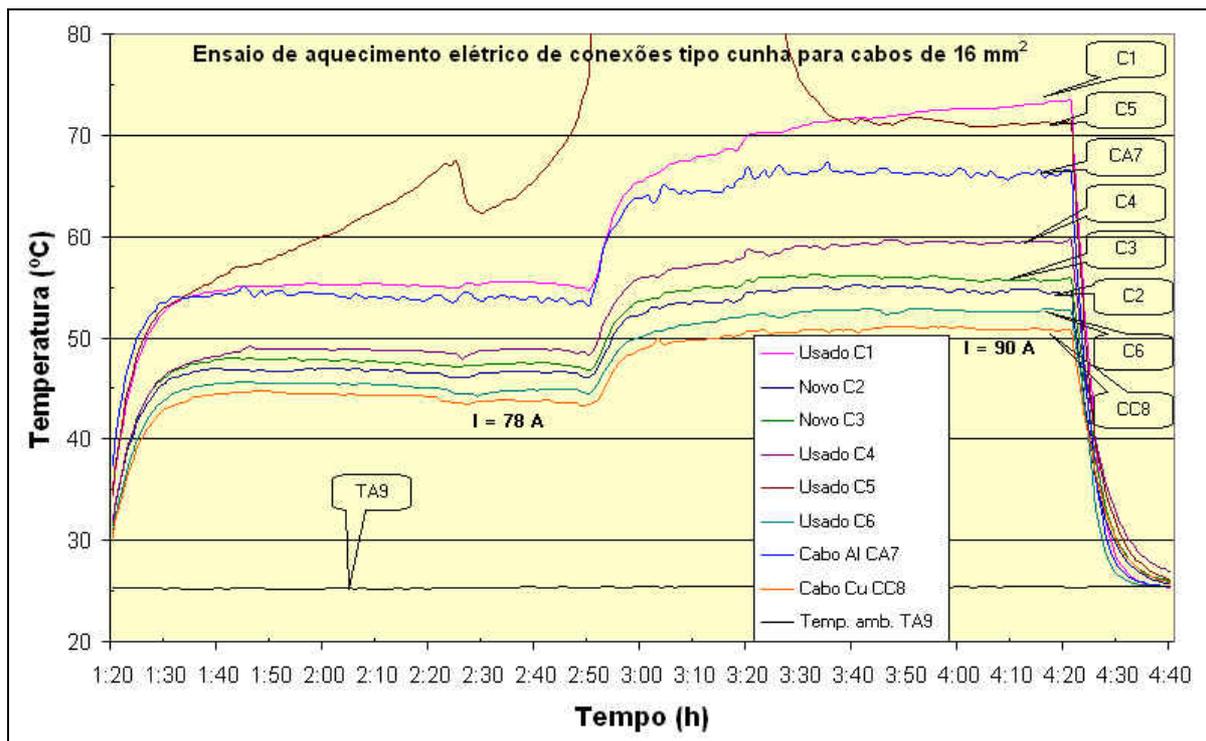


Figura 3 – Identificação em detalhe das curvas de temperatura das conexões ensaiadas

2.2 Luva de emenda a compressão

Um laço contendo quatro conexões de luvas de emenda a compressão, identificadas como L1, L2, L3 e L4, montadas em cabo ACSR Peace River modificado, de acordo com as recomendações da norma IEC 61284³, para classe A, 500 ciclos térmicos, conforme laço montado na área de ensaio apresentada na Figura 4.

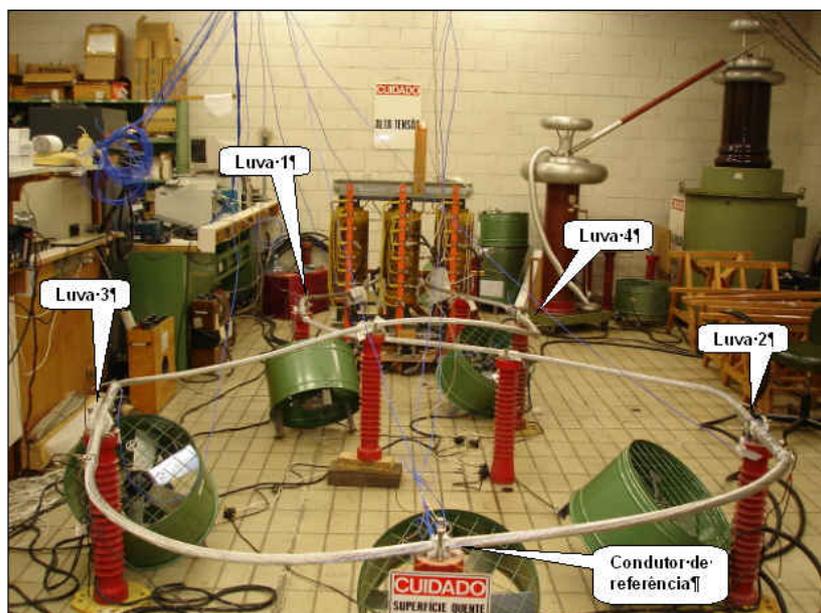


Figura 4 – Identificação das luvas de emenda a compressão para cabo ACSR Peace River

As medições de resistência elétrica das conexões foram efetuadas em temperatura ambiente, antes do início da ciclagem térmica e no final do período de aquecimento, após o primeiro e o décimo ciclos, e não a cada 25 ou 50 ciclos, conforme requerido pela IEC 61284³, devido à suspeita de problemas com as conexões L1 e L2, conforme medições iniciais de resistência elétrica resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 – Resistência elétrica das luvas de emenda a compressão para cabo ACSR Peace River

Ciclos	Inicial		Após 1 ciclo		Após 10 ciclos	
	Ident. conexão	Resistência ($\mu\Omega$)	Temp. conexão	Resistência ($\mu\Omega$)	Temp. conexão	Resistência ($\mu\Omega$)
L1		48,6	24	64,8	28,1	186,3
L2		44,6	24	51,5	27,8	70,5
L3		39,2	24	40,2	28,2	42,5
L4		40,2	24	42,0	27,9	42,6

As medições de temperatura das conexões sob ensaio e do condutor de referência foram monitoradas por um sistema de aquisição de dados, com utilização de sensores de temperatura (termopares tipo T). Foram realizadas leituras de temperatura das conexões e do condutor de referência em intervalos de um minuto, durante toda a série de ciclos. Os pontos de monitoração de temperatura das conexões localizava-se no ponto médio de uma das partes comprimidas das conexões de luvas de emenda, conforme pode ser visto na Figura 5.

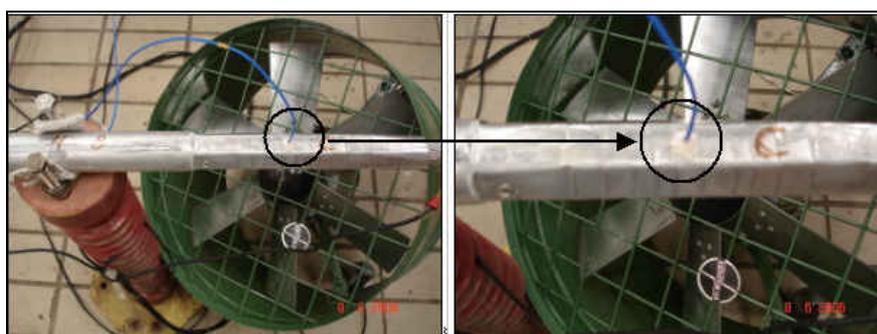


Figura 5 – Localização do ponto de monitoração de temperatura em detalhe, no ponto médio da parte comprimida das luvas de emenda a compressão para cabo ACSR Peace River

O comportamento termoeletrico das conexões e do cabo condutor, para os ciclos de aquecimento iniciais, são mostrados na Figura 6.

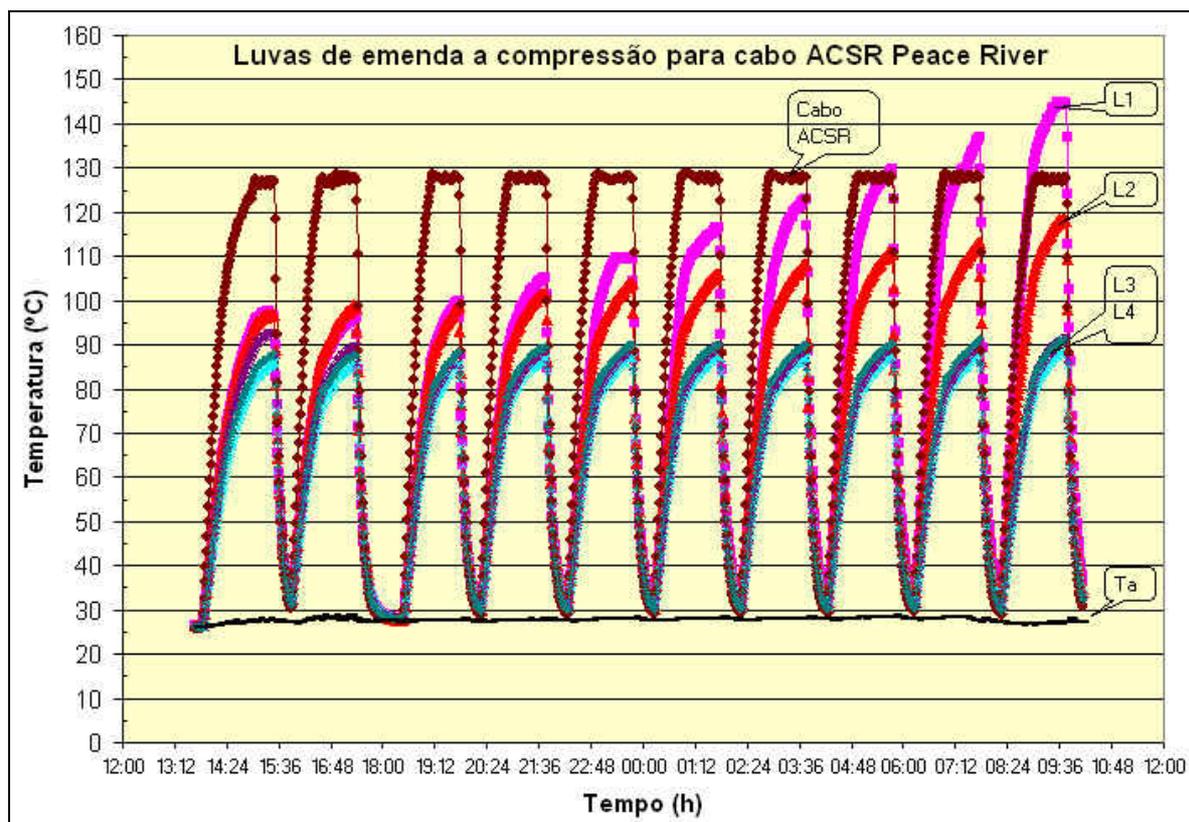


Figura 6 – Comportamento termoeletrico das conexões de luvas de emenda a compressão e do cabo ACSR Peace River durante ciclagem térmica

Conforme apresentado na Tabela 4 e Figura 6, as conexões de luvas de emenda L1 e L2 já apresentavam, inicialmente, valores de resistência elétrica das conexões levemente superior à média das conexões L3 e L4. Ao final do 10º ciclo de aquecimento o ensaio foi interrompido, devido ao aumento da temperatura das conexões L1 e L2, sendo que a amostra L1 já apresentava valores de temperatura, da ordem de 145 °C, ultrapassando o valor imposto por norma, acima do condutor de referência. A resistência elétrica de 190 $\mu\Omega$ da conexão L1, ultrapassou em quase cinco vezes, a resistência média de 40 $\mu\Omega$ apresentadas pelas conexões L3 e L4, aparentemente em boas condições. Uma rápida avaliação através de medições de resistência elétrica por trechos das conexões, conforme esquema apresentado na Figura 7, e resultados verificados na Tabela 5, permitiu deduzir que as partes "A" e "C" comprimidas das conexões L1 e L2 apresentavam problemas.

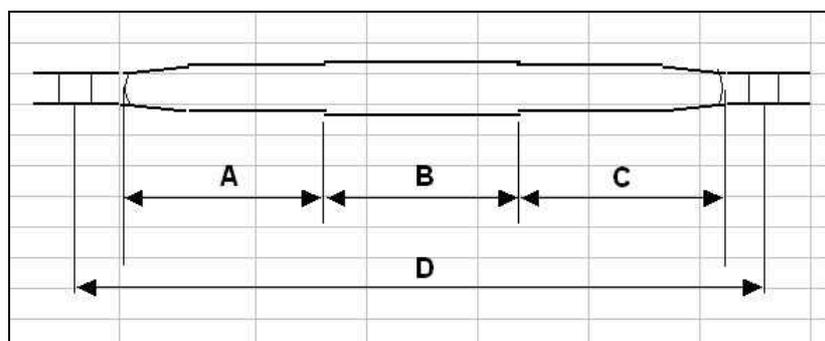


Figura 7 – Identificação dos trechos das conexões das luvas de emenda a compressão para medição de resistência elétrica

Tabela 5 – Resistência elétrica por trechos das luvas de emenda a compressão

Ident. conexão	Resistência por trechos ($\mu\Omega$)				Temp.($^{\circ}\text{C}$) conexão
	A	B	C	D	
L1	151,5	8,4	28,1	187,8	28,5
L2	30,3	10,1	31,3	71,0	27,9
L3	18,8	9,5	14,1	42,5	27,8
L4	15,1	11,3	16,2	42,7	28,5

2.3 Grampo de ancoragem a compressão

O ensaio foi realizado conforme a IEC 61284³, classe A, com 500 ciclos térmicos, sobre quatro conexões de grampos de ancoragem a compressão identificados como G1, G2, G3 e G4, montadas em cabo ACSR Peace River modificado, como mostrado na Figura 8 a seguir.

Antes do fechamento das conexões, as superfícies de contato foram lixadas e foi aplicado o torque de 4 kgf.m, sobre os parafusos das conexões entre o grampo e o *jumper*, que após o 275º ciclo, foram reapertados com torque de 6 kgf.m conforme especificação do fabricante da conexão.

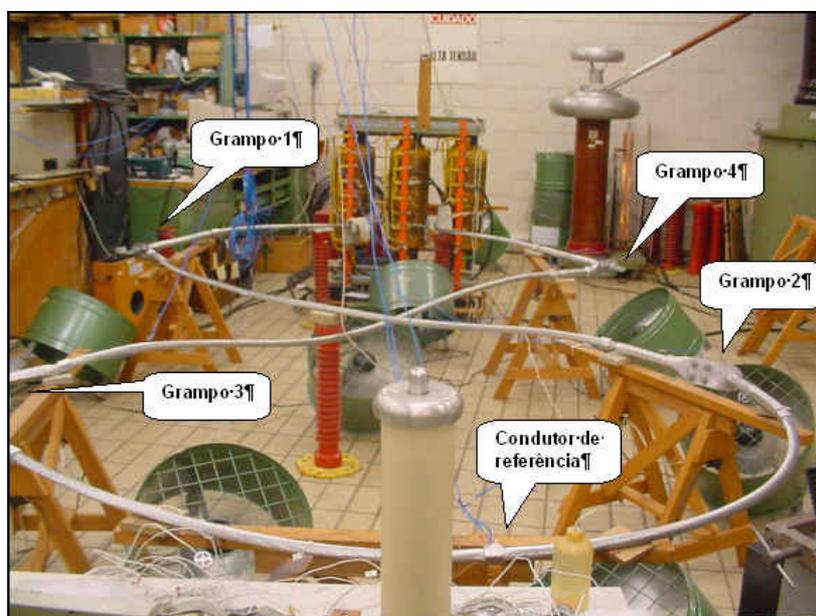


Figura 8 – Identificação dos grampos de ancoragem a compressão para cabo ACSR Peace River

As medições de resistência elétrica das conexões foram efetuadas em temperatura ambiente, antes do início da ciclagem térmica e no final do período de aquecimento a cada intervalo de 50 ou 25 ciclos de aquecimento, conforme requerido pela IEC 61284³.

A variação da resistência elétrica e o comportamento termoelétrico das conexões, devido à aplicação de diferentes torques, durante o ensaio de ciclagem térmica, são apresentados nas Figuras 9 e 10.

Conforme mostrado nas Figuras 9 e 10, a partir do 275º ciclo há nítida variação da temperatura média e resistência das conexões, devido ao torque de aperto dos parafusos das conexões.

Observa-se também na Figura 9, o aumento significativo da resistência elétrica das conexões G2 e G3 nos primeiros 50 ciclos de aquecimento, com tendência de elevação no decorrer do ensaio, variando de 55 $\mu\Omega$ a 70 $\mu\Omega$, até a estabilização média em 50 $\mu\Omega$, após o reaperto dos parafusos.

O aumento na resistência elétrica das conexões eleva também a temperatura das mesmas, e quando em serviço, com torques de aperto abaixo do recomendado, podem apresentar falhas por estresse termoelétrico e mecânico.

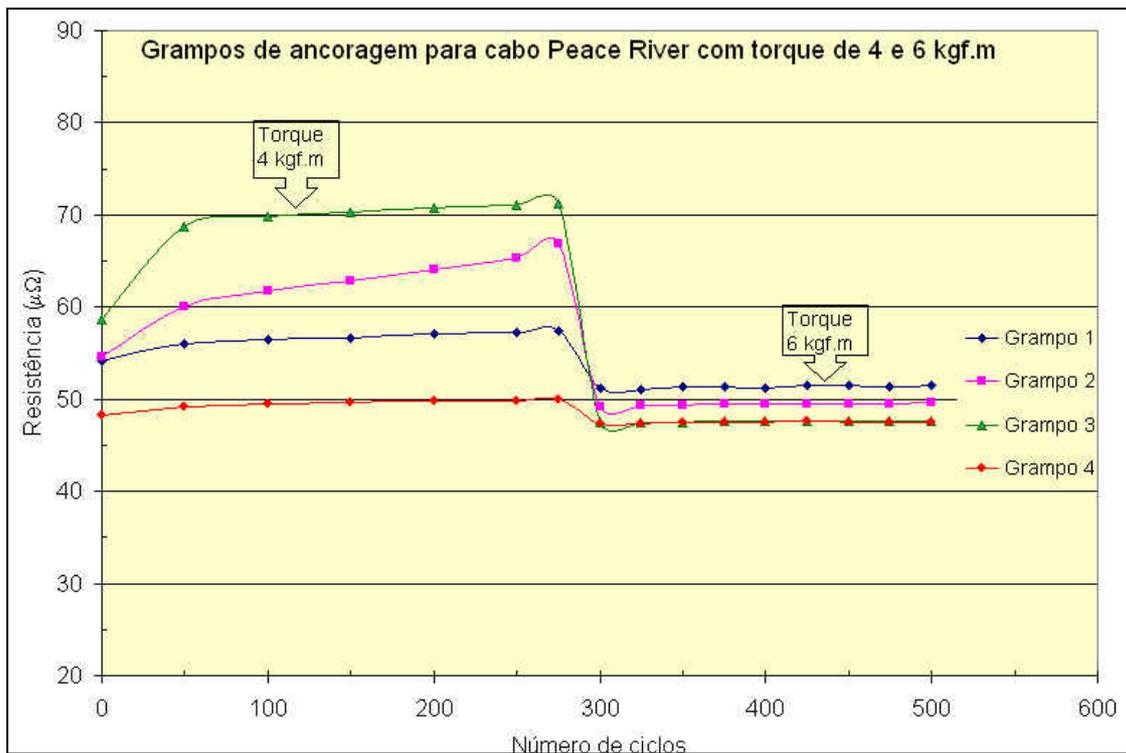


Figura 9 – Variação da resistência elétrica das conexões de grampos de ancoragem a compressão para cabo ACSR Peace River durante ciclagem térmica

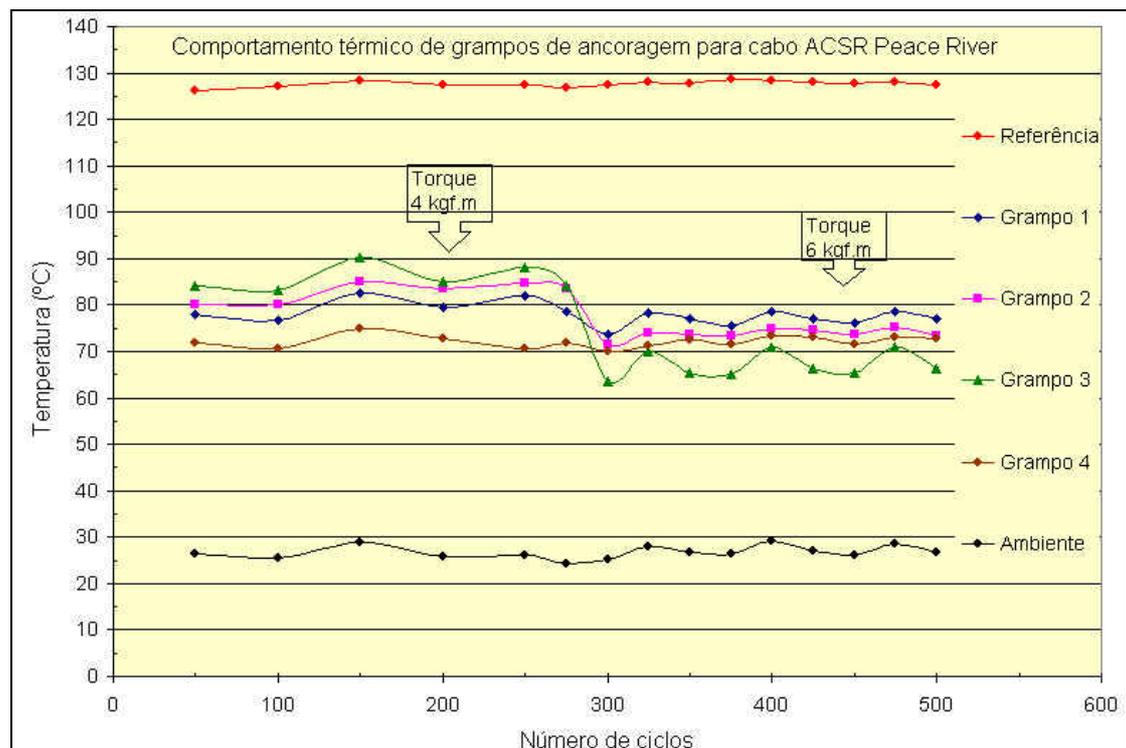


Figura 10 – Comportamento termoelétrico das conexões de grampos de ancoragem a compressão para cabo ACSR Peace River durante ciclagem térmica

2.4 Luva de emenda e grampo de ancoragem a compressão para cabo termorresistente

Neste último caso foi realizado o ensaio de ciclos térmicos com base na norma NEMA CC3 ¹, classe C, para 125 ciclos, em um laço contendo duas conexões de luvas de emenda a compressão e duas conexões de grampos de ancoragem a compressão, para cabo termorresistente TACSR Grosbeak, montados na área de ensaio conforme Figura 11 a seguir.

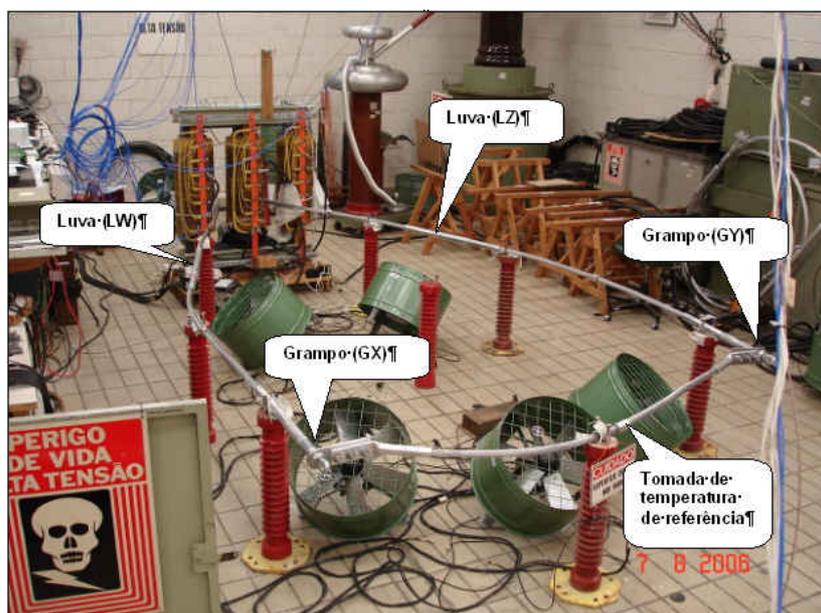


Figura 11 – Identificação das luvas e grampos para cabo TACSR Grosbeak

Antes do fechamento das conexões, as superfícies de interconexões entre o grampo e o *jumper*, foram lixadas e foi aplicado o torque de 7 kgf.m sobre os parafusos, conforme especificação do fabricante. As medições de resistência elétrica das conexões foram efetuadas em temperatura ambiente, antes do início da ciclagem térmica e no final do período de aquecimento a cada intervalo de 25 ciclos de aquecimento, conforme requerido pela NEMA CC3¹. As medições de resistência elétrica das conexões são apresentadas na Figura 12, e o comportamento térmico das conexões durante a ciclagem é mostrado na Figura 13.

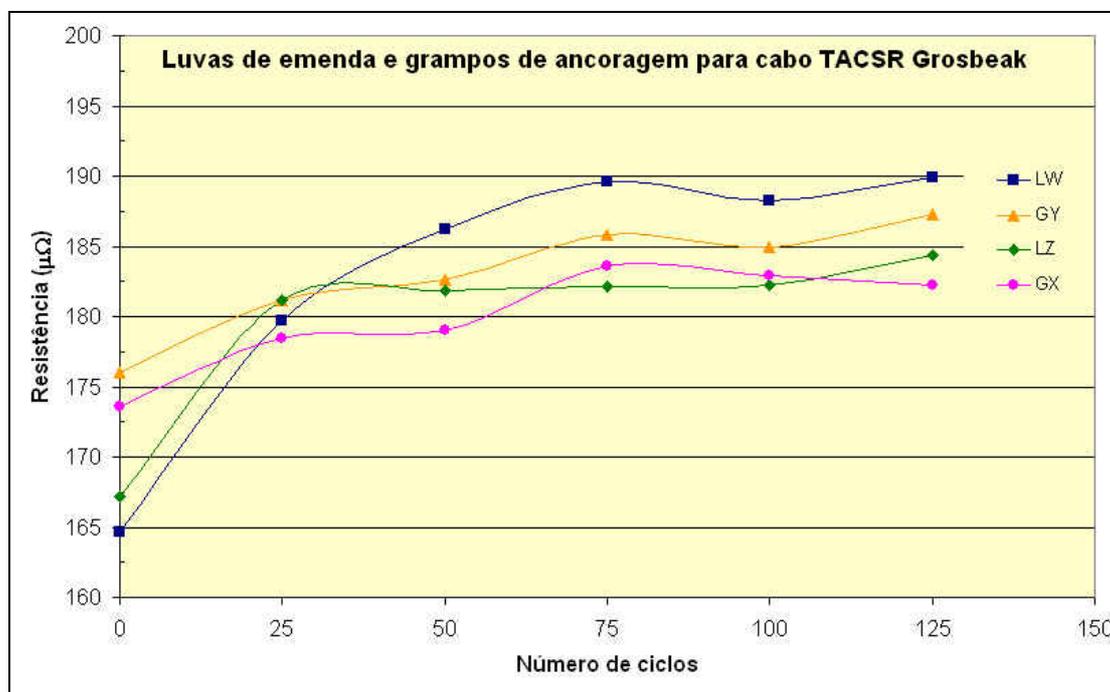


Figura 12 – Variação da resistência elétrica das conexões de luvas e grampos para cabo TACSR Grosbeak durante ciclagem térmica

Na Figura 12 observa-se uma taxa de elevação da resistência elétrica das conexões de luvas de emenda (LW e LZ) mais acentuada do que a elevação verificada para as conexões de grampos de ancoragem (GX e GY), nos primeiros 50 ciclos de aquecimento, com leve tendência de elevação de resistência

elétrica para todas as quatro conexões até o final da série de 125 ciclos de aquecimento. No entanto, as quatro conexões atenderam aos requisitos relativos à variação da resistência elétrica exigidos pela norma NEMA CC3¹.

Como pode ser visto na Figura 13, a temperatura do condutor TACSR Grosbeak foi regulada para a temperatura normal de operação de 125 °C acima da temperatura ambiente, enquanto a exigência da NEMA CC3¹ era o ajuste da temperatura do cabo a 100 °C acima da temperatura ambiente. Esta foi a única alteração nos procedimentos, já que não há norma específica para realização do ensaio de ciclos térmicos com a utilização de cabos e conexões constituídos por ligas especiais com maior suportabilidade térmica.

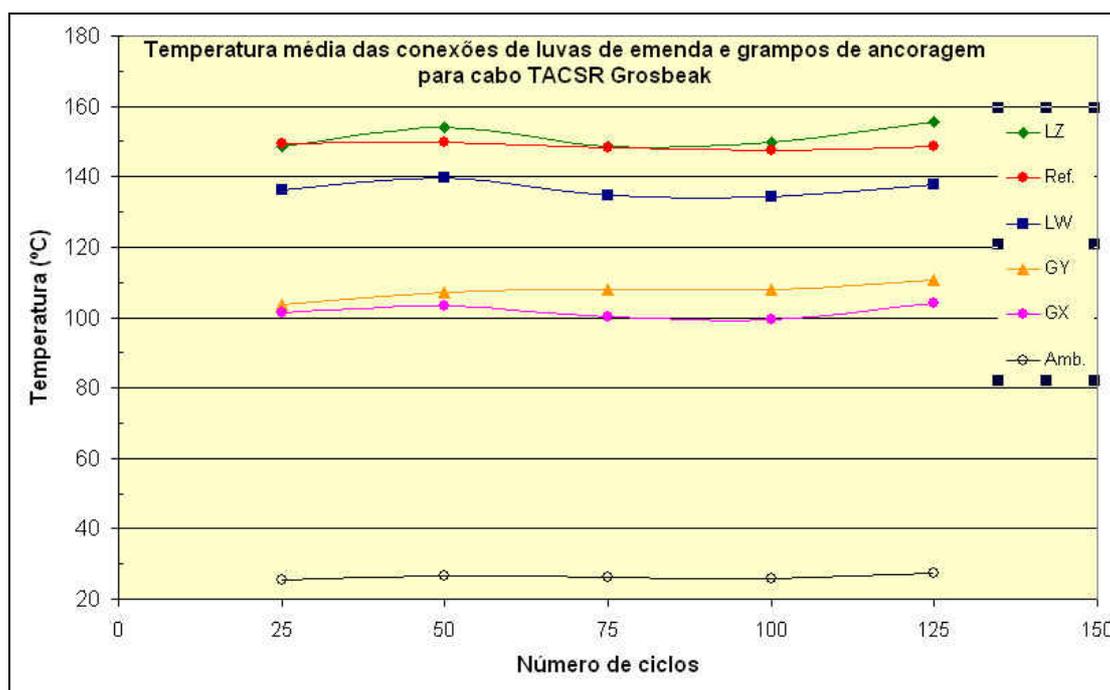


Figura 13 – Comportamento termoeletrico das conexões de luvas e grampos para cabo TACSR Grosbeak durante ciclagem térmica

Ainda em relação ao comportamento termoeletrico das conexões, observa-se que a amostra de luva de emenda (LW) não atendeu ao critério de aprovação da NEMA CC3¹, por ter ultrapassado a temperatura do cabo de referência, durante quase toda série de 125 ciclos de aquecimento, apesar de atender a outros critérios de temperatura exigidos por norma.

3. Conclusões

Na maioria dos ensaios em conexões elétricas realizadas em laboratório, o índice de falha de conexões, ou reprovações por não atender aos requisitos normativos, é relativamente baixo, devido a uma série de fatores: o preparo e escolha do material é mais seletivo; os cuidados na montagem das conexões são diferenciados; geralmente dispõe-se de ferramentas adequadas e acessíveis; e além disso, os técnicos não estão pendurados em uma torre.

Mesmo assim, falhas podem ocorrer, conforme foi apresentado, e na maioria das vezes estão relacionadas à montagem das conexões, principalmente às condições no campo.

No ensaio de aquecimento elétrico dos conectores tipo cunha para cabos protegidos de 16 mm², o objetivo era realizar uma comparação prática e rápida, entre conexões novas e retiradas do campo, sem conhecimento prévio dos antecedentes destas conexões.

Pelo comportamento termoeletrico mostrado nas Figuras 2 e 3, não há garantias de bom êxito para reutilização de conexões, principalmente, porque não há um histórico de antecedentes para as

conexões em serviço, como por exemplo, se a amostra já sofreu algum tipo de sobreaquecimento devido a curtos-circuitos, o que poderia afetar o sistema de mola da conexão, ou mesmo devido a impurezas ou sujeiras acidentalmente introduzidas entre as conexões e os cabos, provocando um mau contato elétrico e a elevação da resistência elétrica da mesma, seguida do sobreaquecimento, e conseqüentemente, a falha com o decorrer do tempo devido ao estresse termoelétrico e mecânico.

Mesmo assim há amostras de conexões usadas com comportamento termoelétrico até melhor que uma amostra nova, neste caso, o ensaio de aquecimento elétrico e resistência elétrica não foram suficientes para reprovar totalmente as amostras que se encontravam por algum tempo em serviço. Recomenda-se a realização do ensaio de ciclos térmicos para uma melhor avaliação do desempenho das amostras.

No segundo caso, referente ao ensaio de ciclos térmicos de luvas de emenda a compressão para cabos ACSR Peace River, verificou-se pela Figura 6, um caso típico de problemas com o processo de prensagem das conexões L1 e L2, que pode ter ocorrido acidentalmente, ou por erro na escolha das matrizes adequadas àquela bitola.

Uma verificação em campo prática e rápida, através da medição da resistência elétrica da conexão, poderia evitar futuros transtornos e prejuízos. Outra sugestão, seria a simples verificação dimensional da conexão em confronto com dados do projeto da conexão, como por exemplo, a verificação dos diâmetros dos tubos antes e após a compressão, e principalmente, a verificação dos comprimentos das conexões após a compressão.

Não se pode descartar também a hipótese de utilização de uma liga metálica incorreta, com maior ou menor dureza em relação à especificada em projeto, que poderia mascarar a verificação dimensional e medição da resistência elétrica da conexão, mas que dificilmente não seria percebida na realização de um ensaio de envelhecimento termoelétrico.

Em relação as amostras de grampos de ancoragem a compressão para cabo ACSR Peace River, foi mostrado, através das Figuras 9 e 10, a influência do torque sobre a conexão, e suas conseqüências em relação às resistências e temperaturas das conexões, caso o torque recomendado não seja aplicado corretamente sobre os parafusos das conexões.

Recomenda-se também a devida preparação das superfícies de interconexão entre o grampo e o *jumper*, antes do fechamento das conexões, com o torque correto. A preparação das superfícies de conexão pode ser feita com uma simples escovação, utilizando escova com cerdas de aço, ou utilizando uma lixa fina, seguida de limpeza com algum solvente, para remoção de pós e óxidos presentes nas superfícies de contato.

Para salientar a importância desta simples tarefa de preparação da conexão antes de sua montagem final, na maioria das vezes, ignorada pelas equipes de manutenção, no par de gráfico exposto na Figura 14, é apresentada uma comparação entre conexões sem escovação e com preparação dos grampos de ancoragem para cabo Linnnet, em um ensaio de aquecimento elétrico, e conforme exposto por Ueti⁷, a conexão G2 foi reprovada no ensaio de envelhecimento acelerado, conforme NBR 7095⁸.

Como mostrado na Figura 14, os gráficos de temperatura das conexões mostram para as amostras que foram escovadas, temperatura média de 50 °C, enquanto as conexões sem escovação, chegaram a alcançar em média 65 °C, para uma corrente de estabilização de 450 A.

Em relação a resistência elétrica das conexões, mostrada na Figura 15, as amostras escovadas permaneceram com uma resistência média de 650 $\mu\Omega$ antes dos ensaios e após envelhecimento térmico de 20 ciclos de aquecimento, enquanto as amostras sem escovação apresentaram uma resistência média de 700 $\mu\Omega$ antes dos ensaios e 730 $\mu\Omega$ após o ensaio de envelhecimento térmico, superando a resistência elétrica do cabo de referência de 710 $\mu\Omega$.

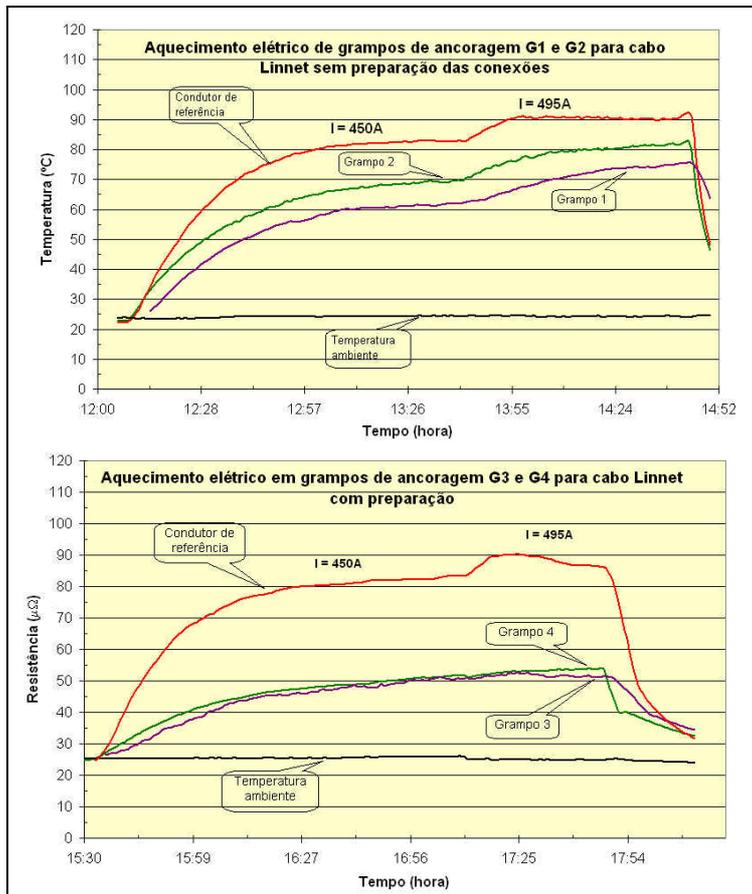


Figura 14 – Comportamento termoeétrico das conexões de grampos de ancoragem para cabo Linnet, sem e com preparação, durante ensaio de aquecimento elétrico

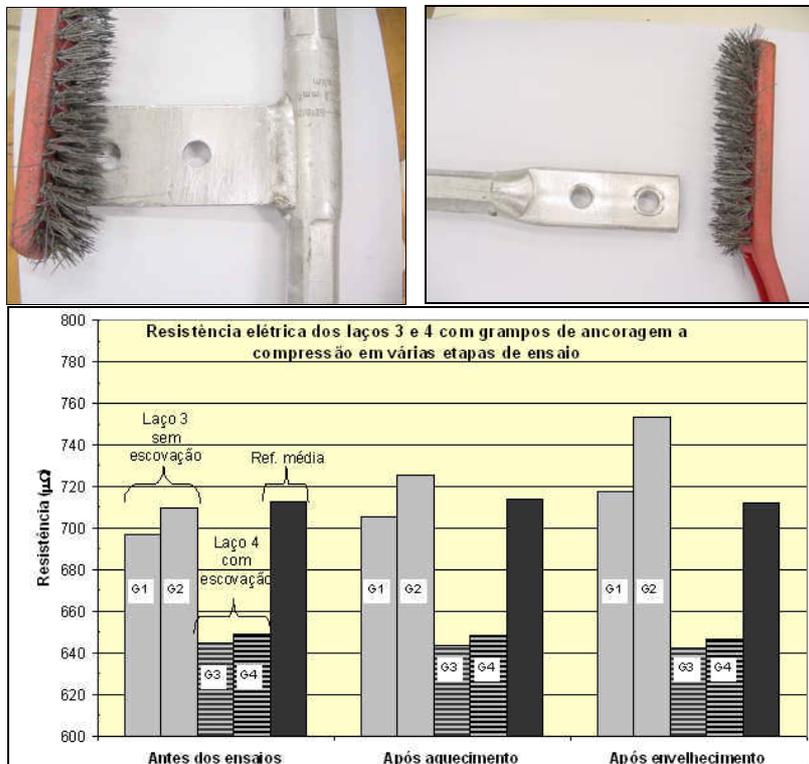


Figura 15 – Resistência elétrica das conexões de grampos de ancoragem para cabo Linnet, sem e com preparação, antes e após ensaios elétricos

No último caso, foram consideradas conexões de luvas de emenda e grampos de ancoragem a compressão instalados em cabo termorresistente TACSR Grosbeak, cuja normalização atual disponível, não abrange este novo tipo de material, capaz de suportar maior carga térmica, podendo transmitir, em alguns casos, quase 50 % a mais de potência em relação ao mesmo tipo de cabo convencional.

O ensaio foi realizado, na época, com base nas recomendações da NEMA CC3¹, com adaptação da temperatura de referência ao cabo termorresistente, com elevação de 125 °C acima da temperatura ambiente, desprezando-se os 100 °C requeridos pela NEMA CC3¹. Porém, uma conexão de luva de emenda não atendeu ao primeiro critério básico da norma, que não permitia a elevação de temperatura da conexão, acima da temperatura de referência do cabo, conforme mostrado na Figura 13, apesar das outras conexões atenderem ao restante dos requisitos exigidos por norma.

Atualmente a NEMA CC3¹ foi substituída pela ANSI C119.4², cujas principais modificações foram a inclusão de um novo tipo de ciclagem térmica mais acelerada, denominada CCST “ Current Cycle Submersion Test ” ou seja, diminuindo-se o número de ciclos e aumentando-se a diferença de temperatura de elevação das conexões, pelo resfriamento acelerado dos condutores e conexões por água refrigerada a 5 °C. Contudo, a norma continua recomendando a realização do ensaio pelo método tradicional CCT “ Current Cycle Test ”.

Outra alteração foi a inclusão de uma classe especial de carga extra pesada, além das outras já existentes, com objetivo de obter um melhor desempenho de conexões em temperaturas mais elevadas. Enquanto nas classes A, B, e C a elevação de temperatura do cabo de referência, acima da temperatura ambiente, é de 100 a 105 °C, na nova classe AA a elevação de temperatura é de 175 a 180 °C acima da temperatura ambiente.

Talvez esta nova classe possa servir como referência para o caso dos cabos e conexões termorresistentes, que de qualquer modo necessitam de mais estudos para estabelecimento de parâmetros normativos.

4. Referências bibliográficas e/ou bibliografia

- 1 NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA CC3; American National Standards for Electric Connectors - Connectors for Use Between Aluminum - to - Aluminum or Aluminum - to - Copper Bare Overhead Conductors. NEMA, Virginia, 1998.
- 2 NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. ANSI C119.4; American National Standards for Electric Connectors - Connectors for Use Between Aluminum - to - Aluminum or Aluminum - to - Copper Bare Overhead Conductors. NEMA, Virginia, 1998.
- 3 INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61284; Overhead Lines – Requirements and Tests for Fittings. IEC, Geneva, 1997.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9326; Conectores para Cabos de Potência – Ensaios de Ciclos Térmicos e Curtos-Circuitos. ABNT, Rio de Janeiro, 1986.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5370; Conectores de Cobre para Condutores Elétricos em Sistemas de Potência. ABNT, Rio de Janeiro, 1990.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11788; Conectores de Alumínio para Ligações Aéreas de Condutores Elétricos em Sistemas de Potência. ABNT, Rio de Janeiro, 1990.
- 7 UETI, Edson. Relatório de Ensaio DVLF-32202/04C; Envelhecimento Térmico de Luvas de Emenda e Grampos de Ancoragem a Compressão - CEMIG. CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2004, p. 11-18.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7095; Ferragens Eletrotécnicas para Linhas de Transmissão e Subestações de Alta Tensão e Extra Alta Tensão. ABNT, Rio de Janeiro, 1981.