

	<p>06 a 10 de Outubro de 2008 Olinda - PE</p>
---	---

<p align="center"><b>Solução para aterramento temporário de alimentadores de distribuição em cubículos de conjuntos blindados em subestações de 138/15 kV</b></p>		
<p><b>Rodrigo Brito de Queiroga</b></p>		
<p><b>AES Eletropaulo</b></p>		
<p>rodrigo.queiroga@aes.com</p>		

<p><b>PALAVRAS CHAVE:</b></p> <p>Aterramento, Curto-Circuito, Isolação Elétrica, Nível Básico de Impulso, Subestações</p>
---

<p><b>DADOS DA EMPRESA:</b></p> <p>Nome: AES Eletropaulo Endereço: Rua do Lavapés, 463. Telefone/fax: (11) 2195-7186 E-mail: rodrigo.queiroga@aes.com</p>
---

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar o estudo e desenvolvimento da solução para aterramento temporário em cubículos de disjuntores de circuitos alimentadores aplicados em conjuntos blindados, na região de 15kV, de subestações transformadoras de distribuição.

Desde meados dos anos 90, a questão da segurança operativa para as equipes de manutenção de equipamentos ou proteção de subestações, ao trabalhar nos conjuntos blindados de 15 kV foi evidenciada, vista a falta de possibilidade de efetuar o aterramento temporário neste tipo de instalação e garantir a equipe o trabalho entre terras.

Impulsionada pela preocupação com a saúde de seus colaboradores e não menos pelas atuais exigências de segurança do trabalho do setor elétrico, a engenharia da AES Eletropaulo concentrou seus esforços em desenvolver uma solução para aterramento temporário de cubículos de conjuntos blindados que garanta a drenagem da carga em todas as condições de energizações acidentais das instalações, a integridade dos equipamentos, e com potencial de implantação em todo o parque da empresa, mesmo com toda a diversidade das aproximadamente 200 unidades instaladas.

## 1. INTRODUÇÃO

Os conjuntos blindados são projetados para atender a finalidade específica de subestações que possuam elevada potência instalada e necessitem distribuí-la através de diversos circuitos alimentadores.

Possibilitando um arranjo eletromecânico compacto no nível de tensão secundário da subestação, no caso da AES Eletropaulo, geralmente 13,8 kV, este equipamento permite instalar, lado a lado, mais de 15 disjuntores, com finalidade proteger e seccionar circuitos de alimentadores, bancos de capacitor, interligação de barras ou secundários de transformadores de potência, com isolamento interna garantida pela rigidez dielétrica do ar, a figura 1, abaixo exemplifica a aplicação.



Figura 1 – Conjunto Blindado Marine Daminelli: ETD-CTA

Para cumprir essa função, os barramentos de potência e equipamentos gerais dos cubículos dos disjuntores possuem isolamento, normalmente do tipo termocontrátil e são projetados com as distâncias mínimas de segurança para garantir o NBI (Nível Básico de Impulso) para o qual foram especificados, tornando assim, muito complicada a instalação de soluções de aterramento temporário convencionais.

Isto posto, o desenvolvimento de uma solução de aterramento temporário convencional, tipo conexão a gatilho ou torção, foi automaticamente descartada, e a linha de pesquisa convergiu para soluções que viabilizassem um ponto fixo de conexão, em cada fase, permanentemente instalado nos barramentos de potência dos cubículos viabilizando o engate do cabo de aterramento temporário sempre que necessário.

Esta solução, então, deveria atender a duas questões principais:

1. Possibilitar a conexão com os barramentos de potência, de modo que todo e qualquer surto indevido seja totalmente drenado a terra;
2. Garantir, que com o novo ponto fixo de conexão no barramento, o NBI do projeto do cubículo não seja alterado, a fim de evitar que transitórios eletromagnéticos do sistema rompam à isolamento e levem o equipamento a falhas severas.

Visto isso, este artigo tem como objetivo apresentar a metodologia desenvolvida para avaliar estas soluções de aterramento temporário, e também a melhor maneira de instalá-la, mantendo a integridade da isolamento interna dos cubículos.

## 2. ATERRAMENTO

Os projetos de instalações elétricas executados atualmente sempre indicam um ponto de aterramento para a instalação. Dependendo do projeto, é feita apenas a especificação de um valor em Ohm ( $\Omega$ ), por exemplo: 10 $\Omega$ , 5 $\Omega$ , ou algum outro valor que, por falta de uma melhor explicação, parece ser um capricho do projetista.

Aterramento é, essencialmente, uma conexão elétrica a terra, onde o valor da resistência de aterramento representa a eficácia desta ligação: quanto menor a resistência, melhor o aterramento.

A função principal de um aterramento está sempre associada à proteção, quer de pessoal ou de equipamentos.

Em subestações, as maiores exigências do sistema de aterramento, são os seguintes:

### *2.1 Surtos em linhas de Força (alimentação):*

Entende-se por surto (em inglês: surge) uma perturbação anormal da corrente ou tensão normalmente esperada em um sistema. Temos surtos causados por manobras na rede, descargas atmosféricas (raios), interferências eletromagnéticas, etc.

O controle dos surtos dentro de um sistema elétrico é feito através de protetores contra sobretensões, tais como pára-raios de linha, supressores, capacitores, etc.

O aterramento é essencial para a correta operação dos protetores contra sobretensões instalados em redes de alta e baixa tensão, pois estes dispositivos drenam as correntes dos surtos para a terra, funcionando como uma válvula de escape para as correntes geradas pelas sobretensões.

### *2.2 Curto-Circuito Fase-Terra:*

O curto-circuito fase-terra em redes elétricas provoca o desbalanço do sistema trifásico, sobrecarga nos equipamentos e cabos da rede, comprometendo a segurança da rede elétrica e dos operadores e usuários. Para que haja um desligamento do trecho da rede afetada, é necessário que a corrente que circula pelo curto-circuito seja superior ao valor de graduação da proteção de neutro.

O aterramento do neutro de transformadores e massas metálicas fornece um caminho de baixa impedância para o corrente de curto, possibilitando a operação da proteção.

#### *2.2.1 O Aterramento Temporário:*

Por definição, o aterramento temporário, é um dispositivo ou sistema que visa proteger a equipe de trabalho contra correntes que possam percorrer o circuito, no trecho onde ela esteja trabalhando, mesmo estando o circuito desenergizado fisicamente.

A manutenção em redes elétricas desligadas nos apresenta, à primeira vista, como uma condição aparentemente segura para a execução dos trabalhos. Entretanto, elas podem ser acidentalmente energizadas, por diversos fatores entre os quais enumeramos os mais comuns:

- Erros de manobra;
- Contato acidental com outro circuito energizado;
- Tensão induzida;
- Descargas atmosféricas;

Os fatores acima não se constituem em fatos teóricos, ou mesmo impossíveis de ocorrer, pois a prática tem nos mostrado que os aterramentos temporários têm evitados inúmeros acidentes.

## **3. SOLUÇÃO PINO CONCHA-BOLA**

Dentro várias opções de soluções diversas disponíveis no mercado, a solução pino-concha bola, para aterramentos temporários, da empresa RITZ do Brasil, parceira do desenvolvimento, foi estudada e submetida a avaliações detalhadas e testes específicos para aplicação neste caso.

A solução pino-concha bola é formada pelo conjunto de dois materiais: pino bola e grampo concha.

O pino bola possui a ponta esférica e corpo em forma de rosca, ambos de liga de bronze estanhado, e são fixados permanentemente no barramento do cubículo.

O grampo concha possui o corpo em forma côncava, de liga de bronze, com dimensões exatas para acomodar a ponta esférica do pino bola, sendo fixado através de uma haste de torção, realizando a perfeita conexão elétrica entre as partes. É também, no grampo concha que o cabo de aterramento é conectado.

A figura 2, abaixo, exemplifica a solução:

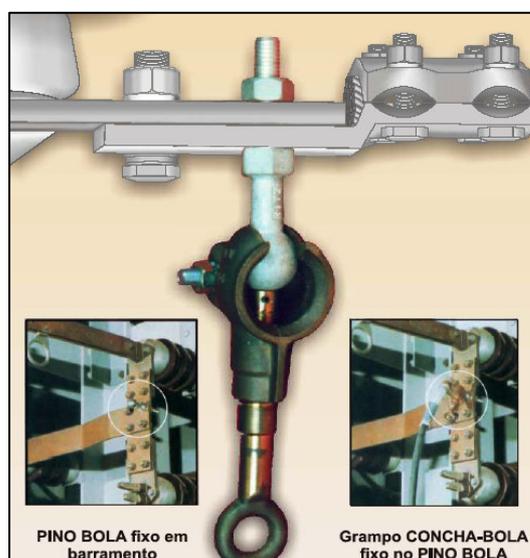


Figura 2 – Solução pino-concha bola (RITZ do Brasil)

Para validar a solução pino-concha bola, como padrão para aterramento temporário de conjuntos blindados em 15 kV, os ensaios de tipo de curto-circuito térmico e dinâmico são principais para avaliar o desempenho do material especificado no projeto e suas características construtivas.

### 3.1. Ensaios de Tipo:

No ensaio de curto-circuito realizado pelo fabricante RITZ do Brasil através do laboratório USP – IEE (Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo), número 58.279 [1], seguindo o item 12.3 da norma ASTM F855-04 [2], as seguintes especificações de equipamentos e acessórios foram utilizados:

Identificação da amostra por este laboratório	Quant.	GRAMPO 1 (1 pç)	CABO (3metros)	GRAMPO 2 (1 pç)
CP-04	1	Ref.: FLV-3584: Grampo de aterramento por torção tipo Concha-Bola, em liga de bronze, com parafuso olhal	Ref.: CTC-95 Cabo de cobre eletrolítico, super flexível, seção nominal de 95mm <sup>2</sup> , com isolamento em PVC transparente 600V.	Ref.: G3368: Grampo de aterramento por torção, em liga de alumínio, com parafuso olhal, para uso em barramento retangular ou circular

Tabela 1 - Materiais e acessórios utilizados no ensaio

Os valores abaixo foram aplicados na solução pino concha-bola:

Amostras	CORRENTE SIMÉTRICA (VALOR EFICAZ) (kA)	Tempo (ms)	I <sup>2</sup> t (CALCULADO) (A <sup>2</sup> S)
CP-04	30,46	574	5,33x10 <sup>8</sup>

Tabela 2 - Valores aplicados ao conjunto pino concha – bola

Como resultado, segue abaixo, as condições da amostra após o ensaio:

### Item 6.1: Relatório de Ensaio 58.279

“Durante a aplicação de corrente foram constatados que houve danos na isolamento do cabo de cobre flexível e a ocorrência de emissão de fumaça, não foram constatados danos visíveis a olho nu no grampo G3368 que impedissem a retirada dos respectivos pontos de conexão, e o cabo de cobre extra-flexível que unia os grampos, não estava rompido.”

Baseado nas condições de ensaio, as quais o conjunto pino concha – boa foi submetido, bem como nos resultados apresentados pelo laboratório USP – IEE, consideramos a solução aprovada para instalação nas subestações da AES Eletropaulo, no que tange o potencial do material e suas características construtivas de drenar de correntes de surto a terra.

Agora, nos resta avaliar como instalar a solução pino concha-bola, mantendo a integridade de isolamento dos cubículos dos conjuntos blindados, instalados nas subestações da AES Eletropaulo.

### 3.2. Ensaio de Impulso Atmosférico realizado no Laboratório da AES Eletropaulo:

As características físicas do pino-bola, com formato puntiforme com a ponta em circunferência, sugerem uma superfície com alta concentração de campo elétrico.

Visto isso, depois de instalado dentro do cubículo, o pino-bola tem o potencial de gerar uma alteração significativa e até perigosa à rigidez dielétrica interna ao cubículo, quando submetido a impulsos atmosféricos.

Para definir uma metodologia de instalação, genérica e expansível, é necessário determinar a distância mínima de segurança, em relação à superfície da carcaça, na qual o pino-bola possa ser instalado evitando riscos para o cubículo.

Assim, com o objetivo de definir a distância mínima segurança de separação à carcaça para instalação nos cubículos dos conjuntos blindados, realizamos o ensaio de impulso atmosférico, nas instalações do laboratório de qualidade de materiais de acordo com a norma NBR 6936 [3] para o NBI de 95 kV.

Neste ensaio, montamos frente a frente, o pino-bola e uma chapa metálica, lisa e de superfície regular, com sua distância variável entre si.

A figura 2 apresenta um diagrama simplificado do esquema de ligação realizado no ensaio.

Em função da variação da distância entre os eletrodos, verificamos os pontos surgimento do arco voltaico, indicando falha na rigidez dielétrica do meio.

Os ensaios foram realizados com e sem a presença da cobertura de isolamento para uso interno fornecido pelo fabricante, e aplicando as curvas plenas de impulso positivas e negativas, ver Figura 7 da NBR 6936 [3], porém, a condição considerada foi a de maior risco para o equipamento, verificada no ensaio, ou seja, sem a cobertura de isolamento e com a curva plena de impulso positiva.

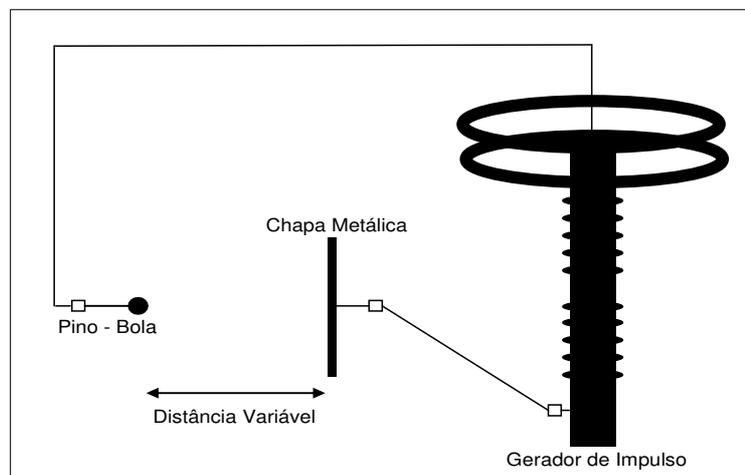


Figura 3 - Diagrama simplificado de ligação do ensaio de impulso atmosférico

Os resultados obtidos no ensaio estão apresentados no gráfico abaixo:

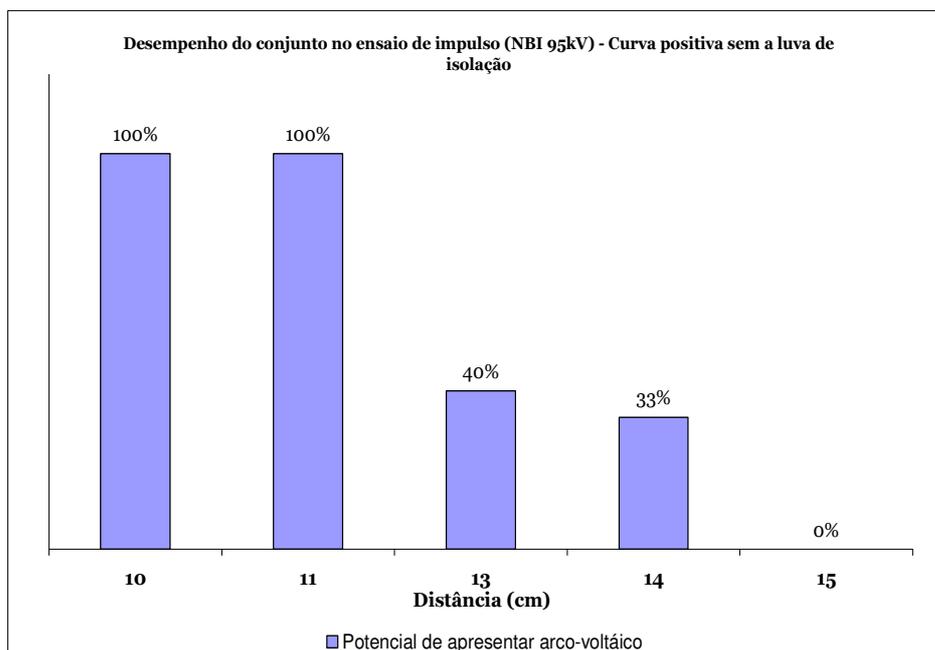


Figura 4 - Desempenho do conjunto no ensaio de impulso (NBI 95kV) – Curva positiva sem a luva de isolamento

Seguindo o resultado obtido, a metodologia desenvolvida considera, então, a distância mínima de segurança de 15 cm entre a ponta do pino-bola e qualquer superfície da carcaça interna do cubículo de instalação.

Esta determinação garante que, caso a equipe esqueça de repor a cobertura de isolamento ao término do trabalho, a isolamento interna do cubículo estará garantida, mesmo se submetido a eventuais impulsos atmosféricos.

Com a cobertura de isolamento, os ensaios apontaram como seguras distâncias mínimas de até 3 cm entre a ponta do pino-bola e a superfície de descarga.

## 4. INSTALAÇÃO

Depois de definido o critério de instalação, foram iniciados os trabalhos de instalação do piloto da solução em cubículos típicos da empresa.

Neste trabalho, pudemos avaliar todos os itens que terão impacto na implantação, e avaliamos as facilidades e dificuldades na implantação.

### 4.1. Definição do Piloto:

Para determinar qual cubículo implantar o piloto, realizamos um levantamento dos conjuntos blindados instalados e seus principais fabricantes, assim pudemos avaliar qual cubículo traria maior representatividade, em termos de expansão.

O gráfico abaixo apresenta o resultado do levantamento:

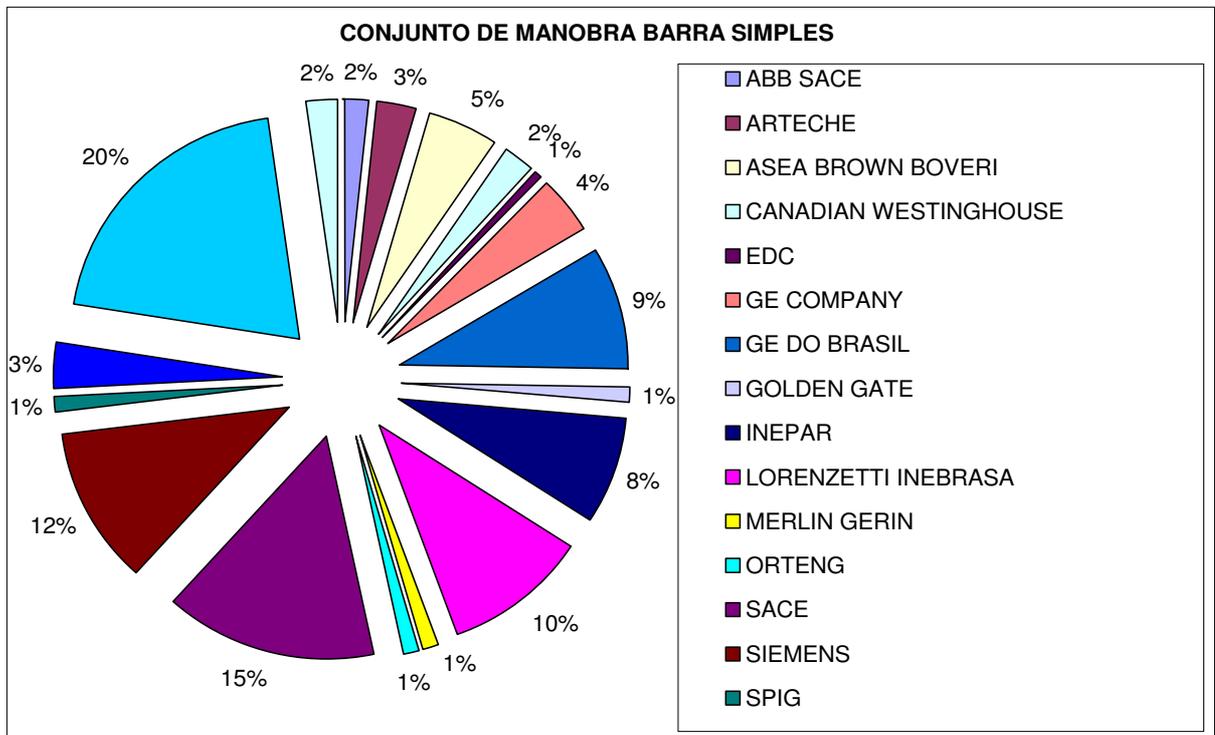


Figura 4 - Levantamento dos conjuntos blindados barra-simples

Fundamentados, então, por este levantamento, definimos as subestações onde seriam instalados os pilotos da solução pino concha – bola, sendo elas:

ETD – Canindé: Conjunto Blindado: Fabricação SACE

ETD – Gumercindo: Conjunto Blindado: Fabricação Marine Daminelli

A seguir, seguem algumas fotos, que exemplificam a instalação:



Figura 5 - ETD Canindé, barramento do blindado Marine Daminelli do circuito de distribuição CAI-104, com necessidade de furação no barramento de potência.



Figura 6 - ETD Canindé, barramento do blindado Marine Daminelli do circuito de distribuição CAI-104, solução completa com a cobertura de isolamento.



Figura 7 - ETD Gumercindo, barramento do blindado SACE do circuito de distribuição GUM-111, sem necessidade de furação no barramento de potência, utilizando a furação de conexão dos isoladores de suporte mecânico.



Figura 8 - ETD Gumercindo, barramento do blindado SACE do circuito de distribuição GUM-111, detalhe da cobertura de isolamento interna.

## 5. CONCLUSÃO

A solução pino concha – bola foi testada e aprovada pela equipe de engenharia da AES Eletropaulo.

A suportabilidade térmica e dinâmica a correntes de curto-circuito foi comprovada no ensaio de tipo realizado no laboratório USP – IEE [1], sendo que os valores apresentados de mais de 30 kA por aproximadamente 500 ms atende plenamente as exigências das subestações de nosso parque, onde os níveis de curto-circuito atingem valores máximos de aproximadamente 10kA, para casos extremos de faltas no barramento secundário do transformador, devido às altas impedâncias dos transformadores de potência.

Instalar a solução pino – bola dentro dos cubículos dos conjuntos blindados não apresenta um risco em potencial à sua isolamento interna, se seguida à metodologia definida pela engenharia da empresa, onde a principal determinação é manter a distância mínima de 15 cm entre a ponta do pino – bola e qualquer estrutura, em potencial, de descarga.

Como resultado deste trabalho, a empresa desenvolveu uma norma interna que padroniza o processo de instalação e futura operação da solução pino concha – bola, onde critérios secundários de instalação são considerados, como por exemplo: o posicionamento elétrico de instalação dos pinos-bola, dentro do cubículo em questão, indicando quais equipamentos de acesso às equipes estão contidos na zona do aterramento, avaliação ergonômica do ponto de instalação, considerando o kit de aterramento com o bastão de manobras associado ao grampo-concha, ensaios: resistência de contato, no ato da instalação, garantindo a qualidade da instalação do pino-bola, e termovisão / radio-interferência como rotineiros do processo de manutenção.

O trabalho também culminou na elaboração do plano de implantação global nas mais de 200 unidades de conjuntos blindados instalados na empresa desde os anos 60, onde questões de planejamento de intervenções, programação das atividades, avaliação da segurança das equipes de instalação, e levando em consideração que o processo de instalação é rápido, e não deve ter duração maior que duas horas, no pior caso, onde é necessário realizar a furação do barramento, a empresa decidiu realizar o trabalho com as próprias equipes de manutenção de subestações.

Mesmo com toda a normalização de instalação, busca primeira deste trabalho, cada caso deverá ser avaliado individualmente, mesmo nos blindados de mesma fabricação, e até, da mesma fabricação onde os pilotos foram implantados, vista as diferenças de projeto entre os diversos pedidos de compra, para mesmos fabricantes.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] USP – IEE, Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo – Seção Técnica de Altas Correntes, '*Ensaio de Curto-Circuito*', Relatório de Ensaio: 58.279.

[2] ASTM '*Standard Specification for Temporary Protective Grounds to Be Used on De-energized Electric Power Lines and Equipment*' ASTM Standards F855-04.

[3] ABNT '*Técnicas de ensaios elétricos de alta-tensão*' NBR – 6936

[4] ABNT '*Técnicas de Ensaio Elétricos de Alta Tensão – Dispositivos de Medição*' NBR – 6937

[5] C.M. Leite e M.L.P. Filho '*Técnicas de Aterramentos Elétricos*', 2ª Edição, 1996, p.3 – 4.