



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

BR/GLT/17
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO- GLT

**IMPLANTAÇÃO DE UM LABORATÓRIO PARA AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE LINHAS DE
TRANSMISSÃO EM ULTRA ALTA TENSÃO**

**Darcy R. Mello(*) Fernando C. Dart Wilson F. Ferreira Carlos K. C. Arruda
CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPEL**

RESUMO

Esse trabalho apresenta a descrição do projeto para implantação de um laboratório, ao ar livre, para avaliar projetos de desenvolvimento de linhas de transmissão para Ultra Alta Tensão, em corrente alternada e em corrente contínua, mostrando as soluções encontradas para os problemas que surgiram na fase de projeto, as características das fontes de tensão já adquiridas, que são únicas para um laboratório deste porte, e as pesquisas projetadas para execução ao final da implantação desse empreendimento, em 2014. Este projeto, que está sendo realizado com recursos provenientes da ELETROBRAS, FINEP e Banco Mundial, encontra-se atualmente em fase de execução das obras civis, com a finalização da primeira etapa prevista para julho de 2013.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de transmissão, Ultra Alta tensão, Laboratório, LPNE, CCAT

1.0 - INTRODUÇÃO

Na década de 70, quando da implantação das primeiras linhas de transmissão em 500 kV do país, a concepção dos projetos apresentava características tais como distância entre fases da ordem de 15 m e as fases utilizavam feixes de 3 condutores espaçados entre si de 0,45 m, o que resulta em uma linha de transmissão (LT) com potência natural da ordem de 900 MW.

A implantação dos laboratórios do CEPEL em Adrianópolis ocorreu nesta mesma década, com a construção, dentre outros, do "hall" de alta tensão (laboratório AT1 – Interno) e da área de ensaio externa (laboratório AT1 – Externo), da Gaiola de Testes e do laboratório de Média Potência.

O aproveitamento de fontes de energia afastadas dos centros de carga tem sido uma necessidade e um desafio comum ao Brasil, à China e à Índia. O aproveitamento das reservas disponíveis na região amazônica, associado à necessidade de preservação do meio ambiente, concorre para o desenvolvimento de linhas de transmissão de alta capacidade, tanto em corrente alternada quanto em corrente contínua.

Sendo assim, com a participação das Empresas do Sistema ELETROBRAS, o CEPEL vem desenvolvendo novas concepções de linhas de transmissão de alta capacidade (LPNE), visando a transmissão de grandes blocos de energia da região Norte para as Regiões Sudeste e Nordeste, notadamente nos futuros empreendimentos de geração do rio Madeira e da UHE Belo Monte. Um exemplo de configuração de linha de alta capacidade, na tensão de 500 kV, desenvolvida no CEPEL, tem distância entre fases da ordem de 5,5 m, 6 condutores por fase dispostos de forma regular num círculo de diâmetro de cerca de 1,90 m nas fases externas e 1,60 m na fase central. Essa configuração resulta em LT com potência natural de cerca de 1.800 MW em 550 kV.

A experiência tem mostrado que a introdução de inovações tecnológicas em empreendimentos de transmissão de grande porte requer o desenvolvimento de estudos, a construção de protótipos, a realização de ensaios e a implantação de linhas piloto. Atualmente as dimensões e os equipamentos dos laboratórios de alta tensão, tanto

(*) Av. Horácio Macedo, 354 – sala J111 - Bloco J – CEP 21.941-911 Cidade do Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 2598-6243 – Fax: (+55 21) 2270-4189 – Email: darcy@cepel.br

interno quanto externo, existentes no CEPEL, permitem montar e ensaiar adequadamente configurações de linhas de transmissão que apresentem plano terra entre as fases, como as configurações dos projetos de linhas de transmissão das décadas de 70 e 80. Ocorre que os ensaios de configurações que apresentem forte acoplamento entre as fases e as configurações de grandes dimensões estão limitados, no máximo, a classe de tensão de 500 kV, com o emprego de artifícios de montagem do arranjo de ensaio. Além disso, as grandes dimensões dos feixes impedem a realização de ensaios com tensões combinadas nestas configurações, não permitindo uma avaliação completa de sua confiabilidade.

Diante disso, o CEPEL, com recursos provenientes da ELETROBRAS e da FINEP e Banco Mundial, desenvolveu um projeto visando a implantação de um laboratório de Ultra Alta Tensão (UAT), na área externa do laboratório de Adrianópolis, com dimensões adequadas para realizar ensaios em configurações trifásicas de linhas de transmissão para 1200 kV em corrente alternada e configurações bipolares de ± 800 kV em corrente contínua.

A implantação de um laboratório deste porte envolve etapas e atividades que incluem a seleção das fontes de tensão, que são únicas para este nível de tensão, a solução de problemas tanto durante a fase de projeto quanto durante a fase de execução e a seleção das pesquisas projetadas para execução ao final da implantação desse empreendimento, em 2014.

2.0 - PROJETO DO LABORATÓRIO

2.1 Diretrizes gerais

O projeto do Laboratório de Ultra Alta Tensão (LabUAT) do CEPEL foi desenvolvido segundo as seguintes etapas:

1. Definir as dimensões do LabUAT com base nos ensaios a serem realizados e nas dimensões dos itens a serem ensaiados [1 a 6];
2. Verificar a disponibilidade de local dentro da Unidade de Adrianópolis do CEPEL (ver Figura 1);
3. Preparar as especificações para os equipamentos de ensaio;
4. Contratar uma empresa para executar o projeto do LabUAT com base nas necessidades de ensaio e nas dimensões das fontes de ensaio e dos itens a serem ensaiados.;
5. Após a definição do projeto, contratar uma empresa para executar as obras civis.
6. Reativar a estrutura de ensaio da Gaiola Corona.

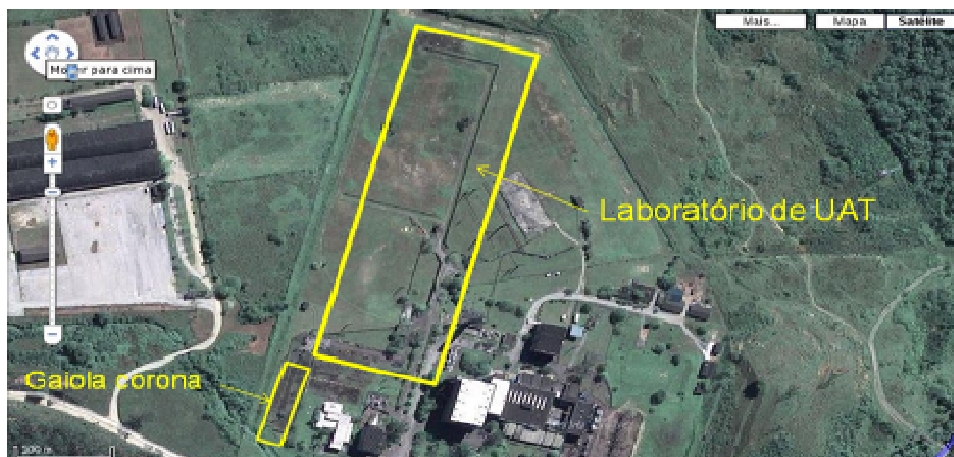


FIGURA 1 – Localização do LabUAT nas Instalações de Adrianópolis

2.2 Detalhes da estrutura física do LabUAT

O LabUAT consistirá de três estruturas metálicas tubulares com o formato de pórtico com vão livre de 70 m de comprimento e 60 m de altura (Figura 2). As estruturas estarão espaçadas entre si de 110 m, formando um vão de ensaio total de 220 m. Todos os pórticos terão uma viga móvel que permitirá a montagem dos arranjos de ensaio ao nível do solo e posterior elevação à altura prevista de ensaio.

O LabUAT terá uma sala de controle (Figura 3), posicionada para permitir uma vista total de toda a área de ensaio, bases de concreto para posicionamento das fontes de tensão ensaio, base de concreto para ensaio de equipamentos para subestação e um depósito para guarda das fontes de tensão quando elas não estiverem em uso. A planta do LabUAT pode ser vista na Figura 4.

O laboratório terá dois sistemas de aterramento interconectados. O aterramento primário é composto por uma malha convencional para frequência industrial com cabos de cobre com diâmetro de 2 AWG. O aterramento secundário destina-se ao retorno das correntes de alta frequência é feito por placas soldadas de malha expandida de cobre (Figura 5a). O desenho dos pontos para aterramento tanto das fontes de tensão de ensaio quanto dos itens sob ensaio pode ser visto na (Figura 5b). O projeto das canaletas que transportam os cabos de medição e controle foi realizado de modo as mesmas sejam envolvidas pela malha expandida (Figura 5c).

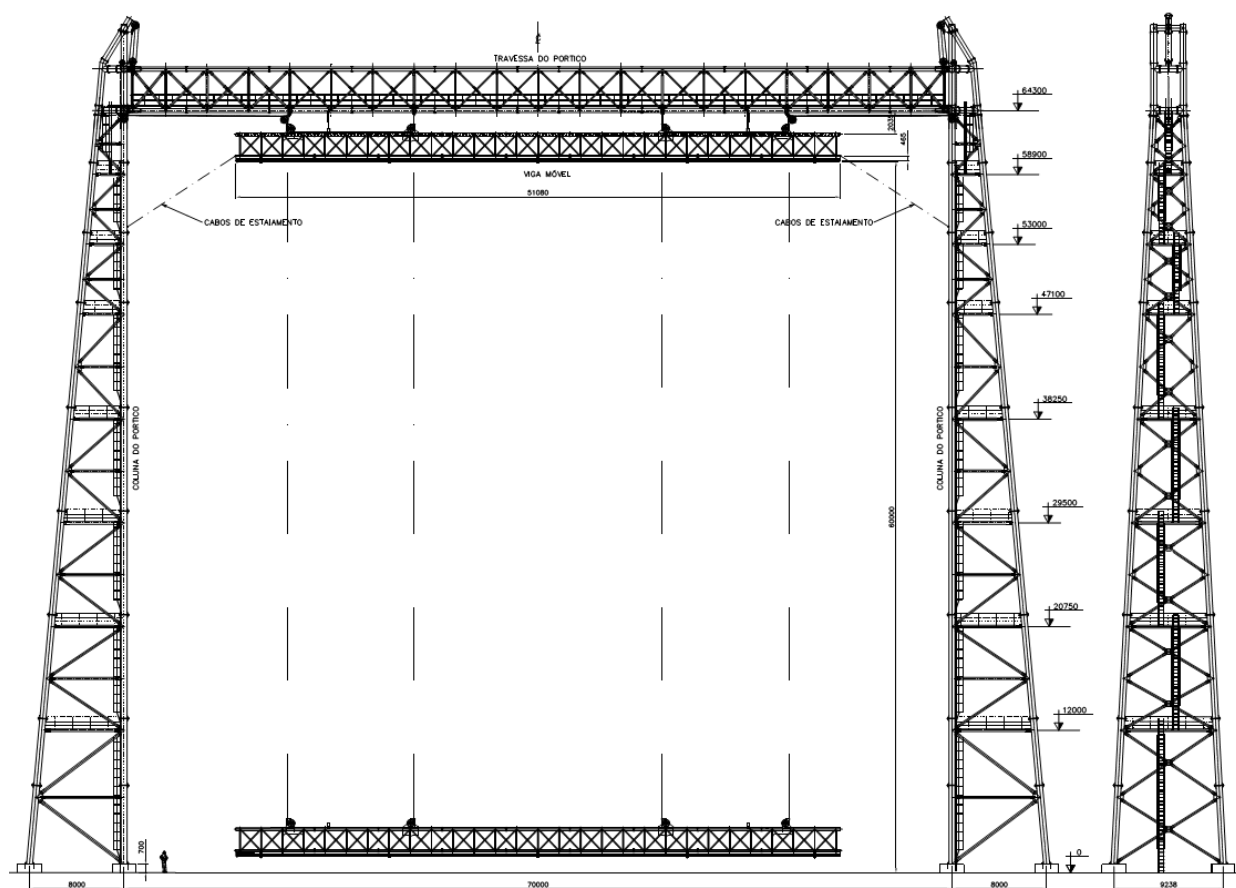
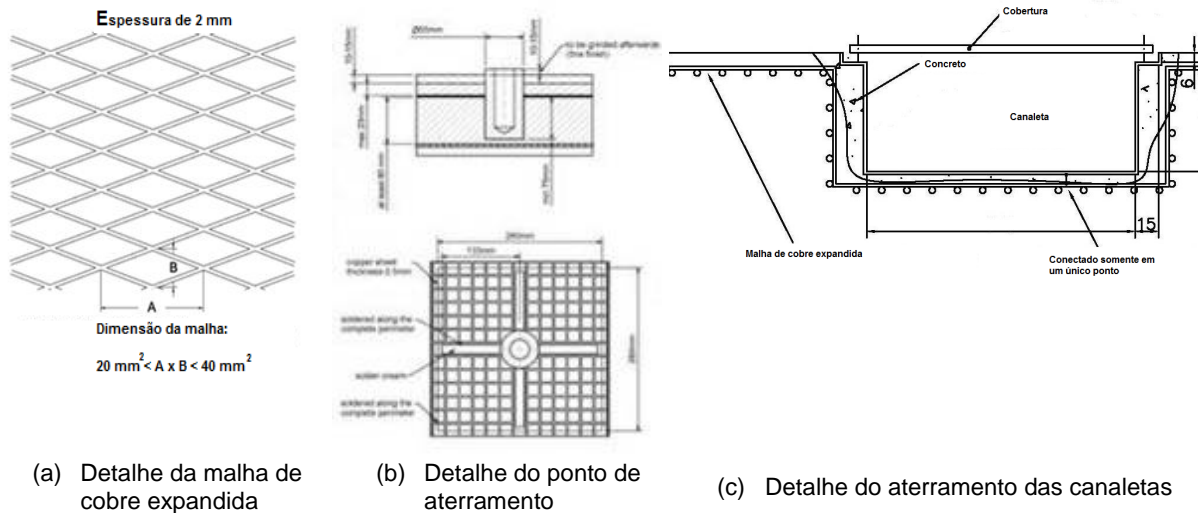
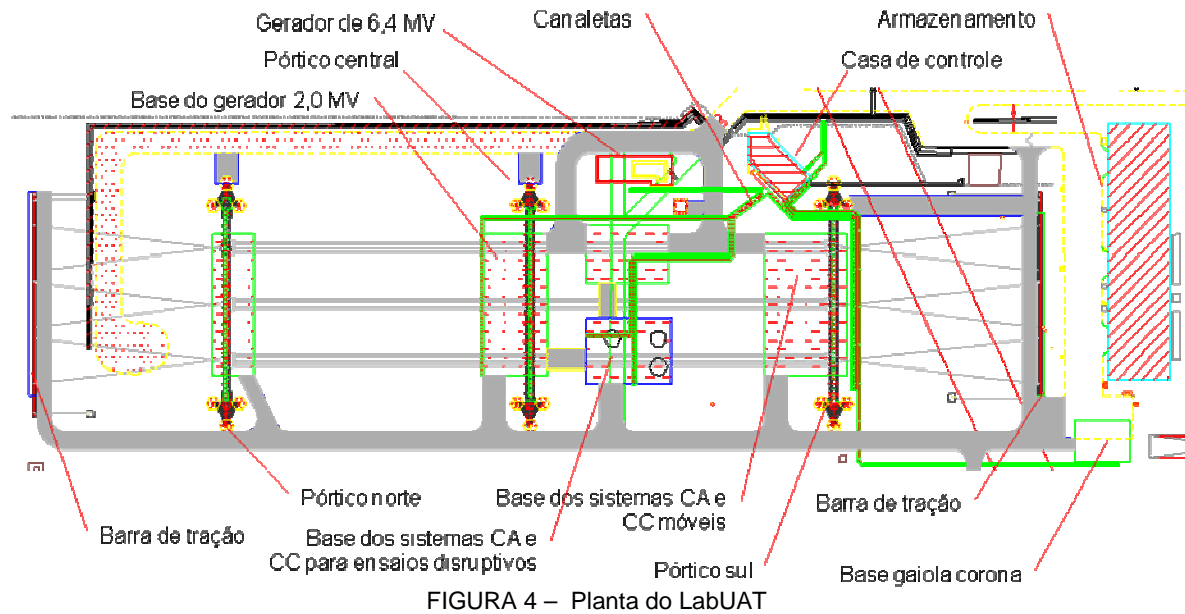


FIGURA 2 – Desenho dos pórticos



FIGURA 3 – Casa de controle do LabUAT



Os eletrodos (yokes) a serem utilizados na blindagem das extremidades dos condutores dos arranjos de ensaio, de modo a evitar a ocorrência de descargas não controladas ou radiointerferência e corona, possuem um desenho especial (Figura 6). Ele é composto de uma estrutura interna, com capacidade de suportar os esforços de tração necessários para esticar os condutores do arranjo sob ensaio e permitir a montagem de uma grande variedade de arranjos de linhas de transmissão, e uma estrutura tubular externa para garantir a blindagem da estrutura interna.

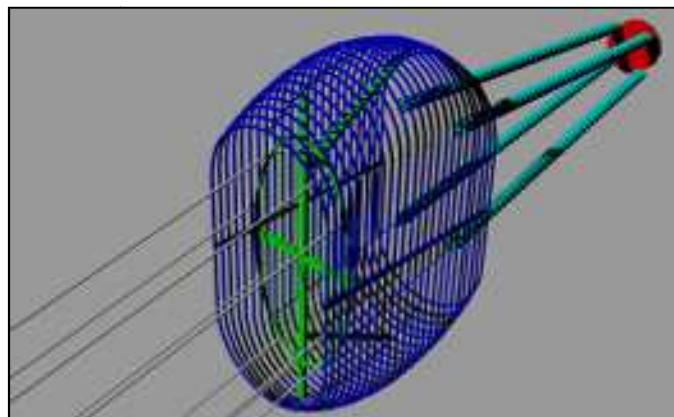


FIGURA 6 – Concepção preliminar de eletrodo de terminação (yoke)

Para se ter uma avaliação completa da influência dos parâmetros climáticos nos ensaios e medições a serem realizados no LabUAT, foi montada uma estrutura meteorológica abrangendo anemômetros para medição contínua do vento em diversas alturas, além da medição contínua dos demais parâmetros ambientais como temperatura, pressão e umidade.

Por razões operacionais, a execução do projeto do LabUAT foi dividido em duas etapas. Na etapa 1 serão finalizadas a casa de controle, a montagem do gerador de impulso de 6,4 MV, a montagem do gerador de impulso de 2,0 MV, o pórtico central, as canaletas operacionais necessárias e a reativação da Gaiola Corona. Na etapa 2 serão finalizadas as demais obras de infraestrutura, a montagem das fontes de corrente alternada e corrente contínua e a montagem dos outros 2 pórticos.

Algumas imagens, obtidas por computador, de como ficará o LabUAT ao término das obras da etapa 2 podem ser vistas na Figura 7.



FIGURA 7 – Concepção artística do LabUAT quando da sua finalização

3.0 - CARACTERÍSTICAS DAS FONTES DE TENSÃO PARA ENSAIO

3.1 Condições gerais

Dentre os equipamentos utilizados como fontes de tensão, somente o gerador de impulso de 6,4 MV e seu divisor de tensão são fixos. Todas as demais fontes serão montadas sobre carretas deslocadas por meio de um trator. O objetivo principal desta mobilidade é preservar as fontes de tensão de danos durante a montagem dos arranjos de ensaio no vão de ensaio.

Como as fontes de tensão são para uso externo, as seguintes condições climáticas foram estabelecidas para serem atendidas pelo projeto das mesmas:

- temperatura ambiente: variando entre 15oC e 44oC;
- elevada incidência solar;
- umidade relativa: variando entre 40% a 93%;
- nível de poluição: médio (devido a ventos provenientes do mar mas não próximo ao mar)
- vento que pode atingir uma velocidade média de 120 km/h com rajadas de 160 km/h.

3.2 Sistema de ensaio de impulso de 6,4 MV

O sistema de ensaio de impulso é composto por um gerador de impulso de 6,4 MV e um divisor de tensão misto de 6,0 MV (Figura 8). As características do gerador de impulso são:

- tensão de carga nominal: 6,4 MV;
- energia: 640 kJ;
- tensão nominal máxima de impulso atmosférico: 5,6 MV;

- tensão nominal máxima de impulso de manobra: 4,6 MV,

3.3 Sistema de ensaio de impulso de 2,0 MV

O sistema de ensaio de impulso é composto por um gerador de impulso de 2,0 MV (Figura 9), e um divisor de tensão misto de 2,0 MV. As características do gerador de impulso são:

- tensão de carga nominal: 2,0 MV;
- energia: 100 kJ;
- tensão nominal máxima de impulso atmosférico: 1,8 MV;
- tensão nominal máxima de impulso de manobra: 1,6 MV,



FIGURA 8 – Sistema de impulso de 6,4 MV



FIGURA 9 - Gerador de impulso de 2,0 MV

3.4 Sistema de ensaio de corrente alternada de 750 kV [8]

O sistema de ensaio de corrente alternada é composto por três transformadores (750 kV – 1 A, cada), três divisores de tensão (750 kV - 1 A, cada), três reatores e um regulador de tensão, que pode operar monofasicamente, bifasicamente ou trifasicamente. O arranjo de ensaio monofásico pode ser visto na Figura 10. Os reatores são necessários para compensar a elevada capacitância dos arranjos de ensaio (de 2 nF a 16 nF). O sistema de ensaio foi concebido de modo a permitir operação em cascata (2 250 kV – 1 A) com uma montagem superposta dos transformadores, dos reatores e dos divisores de tensão. A montagem superposta dos transformadores pode ser vista na Figura 11.

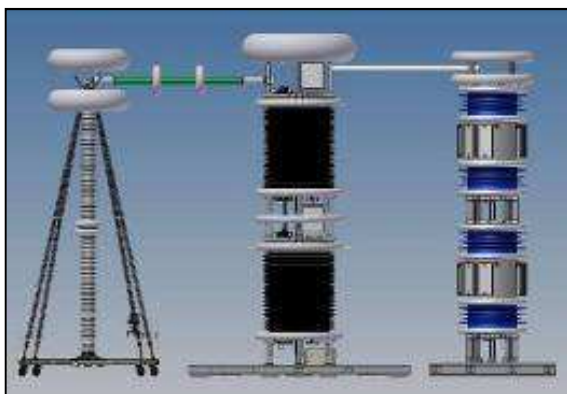


FIGURA 10 – Sistema de ensaio em frequência industrial em montagem monofásica

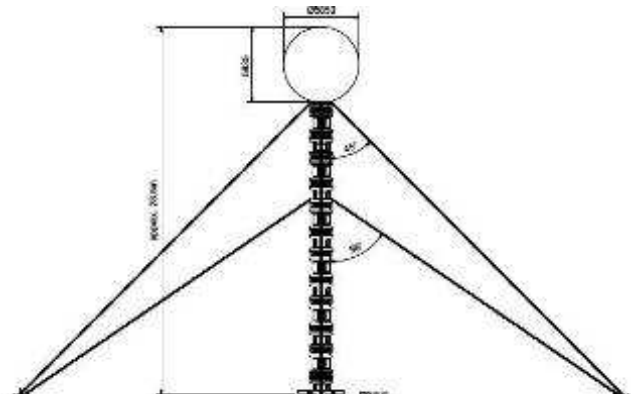


FIGURA 11 – Transformador do sistema de ensaio em frequência industrial montado em cascata

3.5 Sistema de ensaio de corrente contínua de 800 kV

O sistema de ensaio de corrente contínua é composto por dois retificadores (800 kV – 100 mA, cada), que pode operar em arranjo monopolar ou bipolar. Para permitir a realização de ensaios de radiointerferência, foram comparados também dois capacitores de acoplamento (1200 kV – 2 nF). O sistema de ensaio foi concebido de

modo a permitir operação em cascata (1600 kV – 100 mA) com uma montagem superposta dos retificadores e o uso de um isolador suporte para sustentar o resistor de proteção para descargas disruptivas (Figura 12).

Para todas as fontes de ensaio, o sistema de medição de alta tensão deve atender às exigências da norma IEC 60060-2 [7]

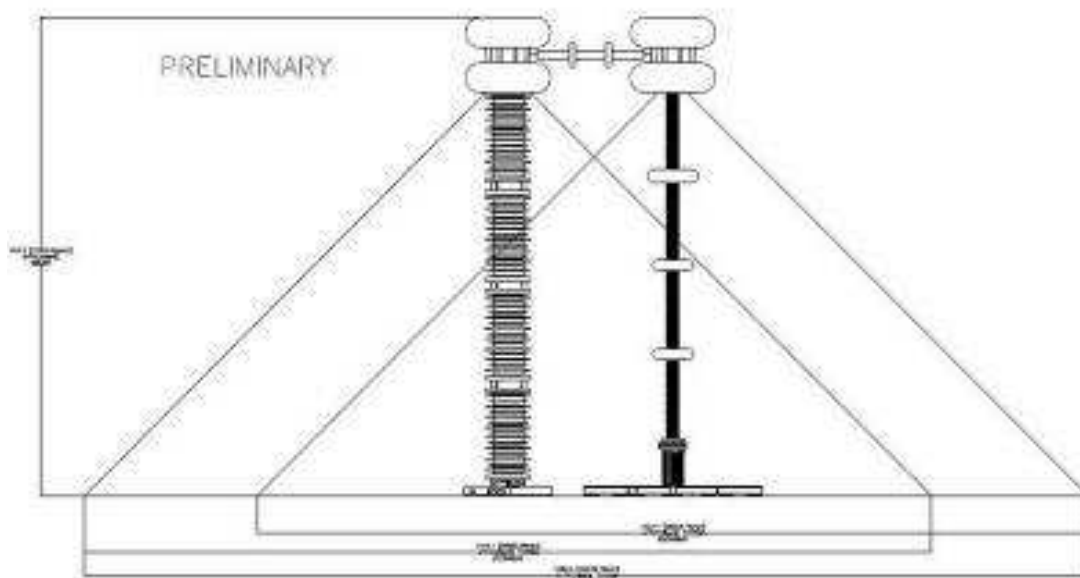


FIGURA 12 – Retificador do sistema de ensaio em corrente contínua montado em cascata

4.0 - GAIOLA CORONA [9, 10]

Como complementação ao LabUAT, decidiu-se reativar a Gaiola Corona com o objetivo de avaliar o desempenho das novas concepções de cabos condutores para as linhas de transmissão quanto ao fenômeno corona, no tocante a perdas de energia e rádio ruído conduzido, tanto em corrente alternada quanto em corrente contínua, já que o percentual dos cabos condutores num empreendimento de transmissão de grande capacidade é da ordem de 60 % do investimento.

A Gaiola Corona é uma estrutura de ensaio montada de modo a simular a distribuição do gradiente de potencial em torno da superfície do condutor singelo em condições de tempo bom e com simulação de chuva artificial normalizada. As medições realizadas na Gaiola Corona permitirão a calibração dos programas computacionais para a avaliação de feixes de grande dimensões com um grande número de condutores por fase ou por pólo.

As reformas das instalações da Gaiola Corona, devido, principalmente, às questões ambientais, foram objeto de avaliações e implicaram em modificações no projeto original da instalação.

O volume de água salinizada utilizado no ensaio, em torno de 200 m³ diários que, por questões ambientais, não pode ser despejado no leito do rio Nova Iguaçu, que corre nos limites do terreno do Cepel, tornou necessário o desenvolvimento de um projeto para reciclar a água utilizada no sistema de chuva artificial da Gaiola Corona. Sendo assim, houve necessidade de projetar um sistema de tratamento de água, para atender tanto às exigências ambientais quanto às exigências de economicidade do ensaio. O desenho do projeto desenvolvido pode ser visto na Figura 13. O sistema é composto de 3 tanques: um tanque de recolhimento (recebe a água do ensaio, água de captação pluvial e água de serviço do laboratório), um tanque de armazenamento (recebe a água do tanque de recolhimento após filtragem) e um tanque de tratamento (para correção da salinidade a ser utilizada no ensaio). O volume dos tanques é calculado para permitir até 60 horas de ensaio ininterruptas.

5.0 - PESQUISAS PLANEJADAS

As pesquisas a serem desenvolvidas no LabUAT serão usadas para melhorar os programas computacionais e os modelos de cálculo desenvolvidos pelo Cepel para otimizar os arranjos de linhas de transmissão com configuração LPNE. Esses programas são de grande importância para os projetos hidroelétricos da região amazônica e para a expansão do sistema de transmissão brasileiro. Além disso, serão realizadas pesquisas referentes a isolamento externo em condições de umidade elevada, coordenação do isolamento fase-fase e fase-terra, avaliação da radiointerferência conduzida em arranjos trifásicos ou bipolares.

6.0 CONCLUSÃO

O volume e a diversidade dos projetos de pesquisa a serem desenvolvidos no LabUAT justificam todo o planejamento detalhado desenvolvido para permitir a realização de um empreendimento com este porte de complexidade. A variedade de fontes de ensaio e as dimensões das estruturas metálicas, com uma grande área livre, permitirão a avaliação de uma enorme diversidade de configurações de linhas de transmissão de modo a

garantir uma elevada confiabilidade para o sistema de transmissão brasileiro, mantendo-o alinhado com as novas tecnologias e permitindo vencer os desafios tecnológicos de transmissão a longa distância pelas próximas décadas.

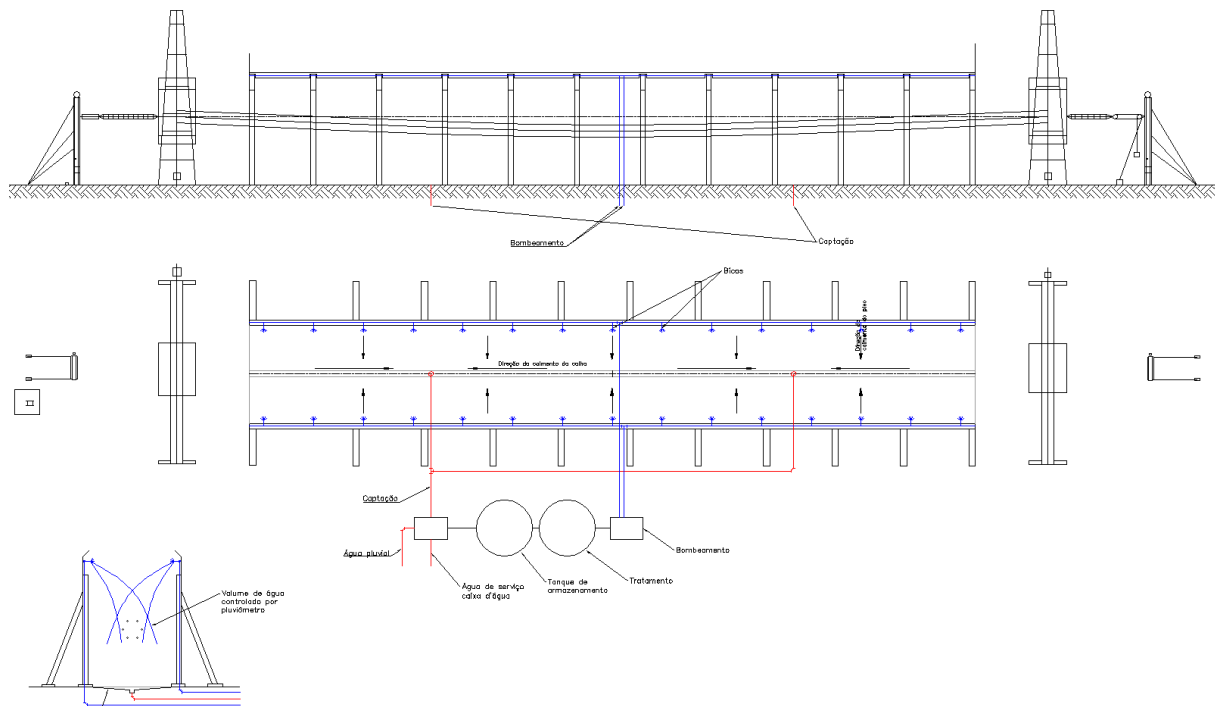


FIGURA 13 – Projeto do sistema de chuva artificial da Gaiola Corona

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEC 60060-1, High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements
- [2] N. Hyltén-Cavallius, High Voltage Laboratory Planning, 1986, publicado por Emil Haefely & Cia Ag
- [3] N. Hyltén-Cavallius e N. G.Trinh. Floor Net Used as Ground Return in High-Voltage Test Areas, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol.- PAS-88,- no. 7, july -1969, pp 996-1005
- [4] High Voltage Company, Earthing systems in HV test field, 11/1997
- [5] K. Feser, High voltage test equipment and procedures, VI International Symposium on High Voltage Engineering, 09/1989, artigo 20.01
- [6] H. M. Ryan e J. Whiskard, Design and operation perspective of a British UHV laboratory, IEE Proceedings, Vol. 133, Pt. A, No. 8, 11/1986, pp 501-521
- [7] IEC 60060-2, High-voltage test techniques. Part 2: Measuring systems
- [8] Y. Ying-jian, J. Tang e Zhi-rong Wu, Construction of UHV AC test base of SGCC, IEC/CIGRE UHV Symposium Beijing 2007-07-23, Poster Sessions – artigo 25
- [9] J. Tang, J. He, Y. Yang, X. Wu e S. Ma, Design of 1000-kV Ultra-High Voltage AC Corona Test Cage in China, Proceedings, 20th Int. Zurich Symposium on EMC, Zurich 2009
- [10] K. Tanabe, Noise performance of 6, 8, 10 conductor bundles for 1000 kV transmission lines at the Akagi test site - a comparative study with cage data, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 4, 10/1991, pp 1799-1804.