

**31 - 03 | 2024**

# GESTÃO DA REACTIVAÇÃO DO LABORATÓRIO PÚBLICO DE TÉCNICA DE ALTA TENSÃO DA UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

## Management of the reactivation of the Public Laboratory of High Voltage Technique at Eduardo Mondlane

## Gestión de la reactivación del Laboratorio Público de Técnica de Alto Voltaje en la Universidad Eduardo Mondlane

Anacleto João Albino<sup>1</sup>, Fernando Hausse Chachaia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade São Tomás de Moçambique – Escola de Pós Graduação, Moçambique, <https://orcid.org/0009-0001-9374-6017>, 0B1F-907C-C2DC, [albinoanacleto9@gmail.com](mailto:albinoanacleto9@gmail.com).

<sup>2</sup>Universidade São Tomás de Moçambique – Escola de Pós Graduação, Moçambique, <https://orcid.org/0009-0004-5446-3905>, D21C-8440-5B9C, [fchachaia@gmail.com](mailto:fchachaia@gmail.com).

Autor para correspondência: [albinoanacleto9@gmail.com](mailto:albinoanacleto9@gmail.com)

Data de recepção: 13-11-2023

Data de aceitação: 15-02-2024

**Como citar este artigo:** Albino, A. J., & Chachaia, F. H. (2024). Gerenciamento da reactivação do laboratório público de técnica de alta tensão da Universidade Eduardo Mondlane. *ALBA - ISFIC Research and Science Journal*, 2(4), pp. 177-184.

## RESUMO

A avaliação da qualidade dos equipamentos de alta tensão, tem uma extrema importância nos sistemas de potência. Esta avaliação deve ser feita em ambientes de laboratórios devidamente equipados. A actual pesquisa tem como finalidade: a reactivação do laboratório de alta tensão do departamento de engenharia electrotécnica, para permitir adequação do processo de ensino e aprendizagem nas disciplinas do curso de engenharia eléctrica, e não só, também para ensaios de alta tensão em dados que vão permitir a definição da situação geral dos equipamentos existentes, o que tornou possível dimensionar geradores de altas tensões para ensaios em corrente equipamentos industriais, cuja aplicabilidade, é para os sistemas de potência. Assim, através de um trabalho contínuo de investigação realizado no laboratório foi feita a recolha de dados em alternada, contínua e impulsiva. A realização deste trabalho recorreu à pesquisa quantitativa-experimental, onde foram usados simuladores

PSCAD e MATLAB, para analisar a conformidade dos geradores dimensionados. Os parâmetros de laboratório conseguidos na pesquisa melhorarão a realização de ensaios de rotinas usando tensões mais elevadas de correntes alternadas, para investigar o comportamento do dieléctrico de isolamento usando tensões de corrente contínua e impulsiva, que figuram como simulações mais comuns para testar a capacidade dos equipamentos em sistemas de potência de suportar as sobretensões de tensões impulsivas. Assim, os geradores obtidos nas simulações com base em MATLAB apresentam resultados normalizados para serem usados em aulas laboratoriais e também como campo de investigação de equipamentos das empresas de energia eléctrica no País.

**Palavras-chave:** Gerador, Alta tensão, Sobretensões.

## ABSTRACT

Assessing the quality of high voltage equipment is extremely important in power

systems. This assessment must be carried out in properly equipped laboratory environments. The current research aims to: reactivate the high voltage laboratory of the electrical engineering department, to allow adaptation of the teaching and learning process in the subjects of the electrical engineering course, and not only, also for high voltage tests in data which will allow the definition of the general situation of existing equipment, which made it possible to size high voltage generators for current tests on industrial equipment, whose applicability is for power systems. Thus, through continuous research work carried out in the laboratory, alternate, continuous and impulsive collection was carried out. The completion of this work used quantitative-experimental research, where PSCAD and MATLAB simulators were used to analyze the conformity of the sized generators. The laboratory parameters obtained in the research will improve the performance of routine tests using higher voltages of alternating currents, to investigate the behavior of the insulation dielectric using direct and impulsive current voltages, which are the most common simulations to test the capacity of equipment. in power systems to withstand overvoltages from impulsive voltages. Thus, the generators obtained in simulations based on MATLAB present standardized results to be used in laboratory classes and also as a field of investigation for equipment in electricity companies in the country.

**Keywords:** Generator, High voltage, Overvoltages.

## RESUMEN

La evaluación de la calidad de los equipos de alto voltaje es extremadamente importante en los sistemas de energía. Esta evaluación debe realizarse en entornos de laboratorio debidamente equipados. La presente investigación tiene como objetivo: reactivar el laboratorio de alta tensión del departamento de ingeniería eléctrica, para permitir la adaptación del proceso de enseñanza y aprendizaje en las materias de la carrera de ingeniería eléctrica, y no sólo, también para pruebas de alta tensión

en datos que permitirán definición de la situación general de los equipos existentes, lo que permitió dimensionar generadores de alta tensión para pruebas de corriente en equipos industriales, cuya aplicabilidad es para sistemas de potencia. Así, a través de un trabajo de investigación continuo realizado en el laboratorio se logró la recolección alterna, continua e impulsiva. Para la realización de este trabajo se utilizó una investigación cuantitativa-experimental, donde se utilizaron simuladores PSCAD y MATLAB para analizar la conformidad de los generadores dimensionados. Los parámetros de laboratorio obtenidos en la investigación mejorarán el desempeño de pruebas de rutina utilizando voltajes superiores de corriente alterna, para investigar el comportamiento del dieléctrico de aislamiento utilizando voltajes de corriente continua e impulsiva, que son las simulaciones más comunes para probar la capacidad de equipos. en sistemas de energía para soportar sobretensiones provenientes de tensiones impulsivas. Así, los generadores obtenidos en simulaciones basadas en MATLAB presentan resultados estandarizados para ser utilizados en clases de laboratorio y también como campo de investigación para equipos en empresas eléctricas del país.

**Palabras clave:** Generador, Alta tensión, Sobretensiones.

## INTRODUÇÃO

O Departamento de Engenharia Electrotécnica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane leciona três cursos, um desses cursos é engenharia eléctrica. A disciplina de técnica de alta tensão faz parte das disciplinas do curso de engenharia eléctrica.

O curso de engenharia eléctrica tem um laboratório de técnicas de alta tensão (LTAT) que é classificado como fundamental de ensino e aprendizagem. Devido a falta de equipamentos, manuais e guiões de ensaios para realização das aulas práticas laboratoriais os estudantes da faculdade de engenharia não realizam as aulas práticas laboratoriais. O LTAT pode ajudar no desenvolvimento do

pensamento científico dos investigadores e estudantes na área de engenharia eléctrica, na compreensão de métodos utilizados por cientistas para a produção de novos conhecimentos, também ajuda aos estudantes a conhecer e observar os fenómenos que ocorrem em equipamentos de alta tensão quando submetidos aos ensaios.

O presente trabalho científico enquadra-se no âmbito de elaboração de um projecto para a reactivação do laboratório de alta tensão do Departamento de Engenharia Electrotécnica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

A reactivação do laboratório de alta tensão permitirá adequação do processo de ensino e aprendizagem nas disciplinas do curso de engenharia eléctrica, e não só, também para ensaios de alta tensão em equipamentos industriais, cuja aplicabilidade, é para os sistemas de potência.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A concretização deste trabalho deveu-se, primeiramente, a intensa pesquisa bibliográfica, realizada através de informações encontradas em livros, artigos e afins.

A realização deste trabalho também recorreu à pesquisa quantitativa-experimental, onde foram usados simuladores PSCAD e MATLAB, para analisar a conformidade dos geradores dimensionados

### *Especificações dos equipamentos do LTAT*

Em uma rede AC, o equipamento é continuamente sujeito a tensão de frequência

de potência total. O equipamento deve, portanto, ser capaz de suportar tensão de frequência normal de energia, permitindo alguma sobretensão.

Em um laboratório de alta tensão, o transformador de teste aumenta a tensão de uma tensão mais baixa (220 V ou 11 kV) para o nível de tensão desejado. Todos os testes de laboratório são monofásicos e o lado de baixa tensão do transformador é fornecido através de um transformador de regulação para poder ajustar a magnitude da alta tensão de saída.

O aparelho usado no LTAT para gerar a alta tensão alternada é um transformador monofásico de ensaio, que tem as seguintes características:

Tensões nominais: 0,196/100/0,196 kV;  
Tensão de curto-circuito: 4%;  
Potência aparente nominal: 5 kVA;  
Correntes nominais: 26/0,05/17 A;  
Frequência nominal: 50/60 Hz;  
Corrente de curta duração (10 minutos): 39/0,075/25 A.

O sistema de energia também está sujeito a pulsos de sobretensão, devido a raios e comutação. No campo, esses transientes podem assumir muitas formas de onda diferentes. Onda de impulso padrão foi definida como mostrado na Figura 9.

A definição real é mais precisa, mas para os impulsos relâmpago,  $T_1$  é 1,2 s e  $T_2$  é 50 s. O impulso relâmpago padrão é descrito como um Onda de 1,2 / 50 s. O impulso de comutação padrão é um Onda de 250/2500 s.

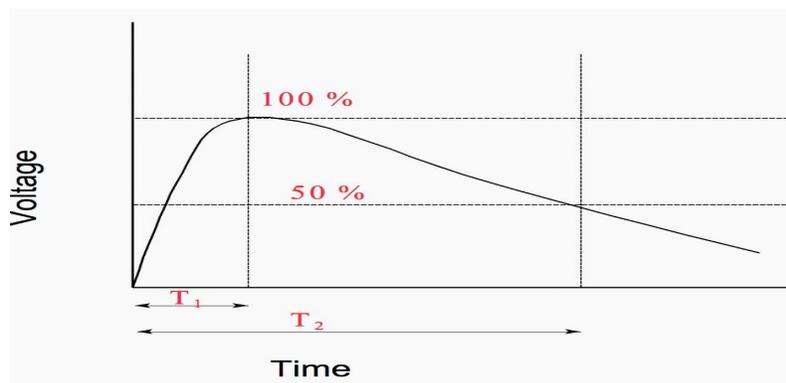


Figura 1: Onda de impulso padrão

Fonte: (Nowack)

As tensões de impulso geradas nos laboratórios são simulações das sobretensões que podem ocorrer num sistema eléctrico.

Para o melhor rendimento do circuito, a escolha dos resistores e capacitores deve seguir as seguintes condições:

- O capacitor de impulso deve ser maior que o capacitor de carga ( $C_s \gg C_b$ );
- A multiplicação do resistor de cauda e capacitor de impulso deve ser maior que a multiplicação do resistor de frente e capacitor de carga ( $R_e * C_s \gg C_b * R_d$ ).

□ Impulso lento (manobra)

Com base nas condições colocadas para escolha dos resistores e capacitores tem-se:

Capacitor de impulso –  $C_s$ : 25000 pF;

Resistor de frente –  $R_d$ : 49 k $\Omega$ ;

Resistor de cauda –  $R_e$ : 98 k $\Omega$ ;

Capacitor de carga –  $C_b$ : 1200 pF.

Verificação do rendimento:

$$\eta = \frac{C_s}{C_s + C_b} = \frac{25000}{25000 + 1200} = 95,4\%$$

$$T_1 = (C_s + C_b) * R_e = (25000 + 1200) * 98 * 10^{-12+3} = 2567,6 \mu s$$

$$T_2 = \frac{C_s * C_b}{C_s + C_b} * R_d = \frac{25000 * 1200 * 49 * 10^{-12+3}}{25000 + 1200} = 56,1 \mu s$$

Tempo de frente:

$$T_f = \frac{T_1 * T_2}{T_1 - T_2} * \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right) = \frac{2567,6 * 56,1}{2567,6 - 56,1} * \ln\left(\frac{2567,6}{56,1}\right) = 219,3 \mu s$$

Tempo de cauda:

$$T_c \approx T_1 * \ln\left(\frac{2}{\eta}\right) \approx 2567,6 * \ln\left(\frac{2}{0,954}\right) = 1900,6 \mu s$$

Como:

$$T_f = 200 \mu s \pm 20\%$$

$$T_c = 2500 \mu s \pm 60\%$$

O tempo de frente de 219,3  $\mu s$  pertence ao intervalo de 160 $\mu s$ -240 $\mu s$  e o tempo de cauda de 1900,6  $\mu s$  pertence ao intervalo de 1000 $\mu s$ -4000 $\mu s$ , os elementos escolhidos fornecem a característica da onda que se deseja no impulso lento.

Com base nas condições colocadas para escolha dos resistores e capacitores tem-se:

Capacitor de impulso –  $C_s$ : 25000 pF;

Resistor de frente –  $R_d$ : 375  $\Omega$ ;

Resistor de cauda –  $R_e$ : 2400  $\Omega$ ;

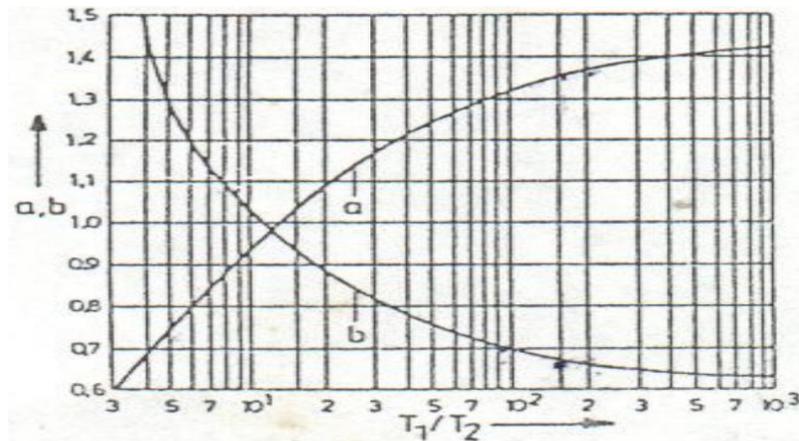
Capacitor de carga –  $C_b$ : 1200 pF.

#### ▪ Impulso rápido (atmosférico)

$$T_1 = (C_s + C_b) * R_e = (25000 + 1200) * 2,4 * 10^{-12+3} = 62,9 \mu s$$

$$T_2 = \frac{C_s * C_b}{C_s + C_b} * R_d = \frac{25000 * 1200 * 0,375 * 10^{-12+3}}{25000 + 1200} = 0,4294 \mu s$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{62,9}{0,4294} = 146$$



$$(a, b) = f\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

Figura 2: Constantes a e b usados no cálculo de tensão de impulso rápido.

Fonte: (Nowack)

A constante  $a=1,34$  e a constante  $b=0,67$ .

$$T_c = 50\mu s \pm 20\%$$

Tempo de frente:

$$T_f = \frac{2}{b} * T_2 = \frac{2}{0,67} * 0,4294 = 1,3 \mu s$$

O tempo de frente de  $1,3 \mu s$  pertence ao intervalo de  $0,84\mu s-1,56\mu s$  e o tempo de cauda de  $47 \mu s$  pertence ao intervalo de  $40\mu s-60\mu s$ , os elementos escolhidos fornecem a característica da onda que se deseja no impulso rápido.

Tempo de cauda:

$$T_c = \frac{1}{a} * T_1 = \frac{1}{1,34} * 62,9 = 47 \mu s$$

- Resistores:
- Capacitores:

Como:

$$T_f = 1,2\mu s \pm 30\%$$

Tabela 1: Capacitores existentes no LTAT

Quantidade	Capacitância (F)	Tensão	Saída
2	25000p	140 kV	CC sem divisor
2	1200p	140 kV	CC com divisor
1	100p	100 kV	CA com divisor

▪ **Espinterómetros:**

- ✓ Um espinterómetro horizontal de 80 mm de ruptura para conexão de diversos tipos de arranjos;
- ✓ Dois espinterómetro vertical de medição para conexão de diversos tipos de arranjos.

▪ **Diodo:**

Um diodo de silénio de 20 mA, 100 kΩ e 140 kV.

▪ **Transformador de ensaio:**

Um transformador de ensaio com as seguintes características:

Tabela 2: Características do transformador do ensaio de LTAT

Tensão nominal	196/100000/196 V
Corrente de serviço	26/0,05/17 A
Corrente de curta duração (10 minutos)	39/0,075/25 A
Potência nominal	5 kVA
Tensão de curto circuito	4%
Frequência	50/60Hz

Fonte: (Autor)

▪ **Autotransformador:**

Um transformador que regula tensão de 0-196 V.

▪ **Outros materiais:**

- ✓ Um interruptor de terra com tensão nominal 24V, corrente nominal 2A e frequência 50/60Hz;
- ✓ Uma varra de terra;
- ✓ Um divisor de tensão capacitivo de 68nF;
- ✓ Um divisor de tensão resistivo de 15k $\Omega$ ;
- ✓ Um divisor de tensão capacitivo de 150kV com uma relação de divisão de 388500;
- ✓ Um divisor de tensão capacitivo de 300kV com uma relação de divisão de 778600;
- ✓ Um divisor de tensão capacitivo de 75kV com uma relação de divisão de 191900;
- ✓ Um espinterómetro fechado para medição da pressão;
- ✓ Isolador de pino para média tensão;
- ✓ Doze espaçadores para os pés;
- ✓ Cinco espaçadores para as cabeças;
- ✓ Seis isoladores;
- ✓ Dezassete cabeças;
- ✓ Oito pés;

- ✓ Um motor de accionamento do espinterómetro de ruptura;
- ✓ Um cabo conector;
- ✓ Duas varras de accionamento de espinterómetro de medição;
- ✓ Uma mesa de ensaio;
- ✓ Uma plataforma de comando HAEFELY>TRENCH OT 275;
- ✓ Um instrumento de medição digital DMI 551;
- ✓ Um osciloscópio HM 408/40 MHz;
- ✓ Um voltímetro para controlar a tensão de saída do autotransformador;
- ✓ Uma tina para medição da rigidez dieléctrica do óleo;
- ✓ Instrumento para verificação do efeito coroa;
- ✓ Uma mala de ferramentas;
- ✓ Uma mala de acessórios;
- ✓ Uma mala contendo os seguintes elementos: esplosores planos, esplosores pontas, esplosores esferas, conectores pontas e conectores esferas;
- ✓ Um ferro de soldar de 300W;
- ✓ Um instrumento para testar capacidade;
- ✓ Um extintor contra incêndio.

É um dispositivo controlado por microprocessador para medir AC, CC, tensões de impulso. O instrumento também pode ser

usado para disparar um gerador ou um intervalo de esfera picadora e para accionar um osciloscópio ou qualquer outro dispositivo de medição.

O DMI 551 é aplicado nos testes dos transformadores, testes dos comutadores, pesquisa e testes de para-raios.

Tabela 3: características do DMI 551 existente no LTAT da UEM.

Equipamento	Digital Measuring Instrument
Modelo	DMI 551
Número de Serie	083604-09
Ano de Fabrico	N/A
Nome do Fabricante	EmileHaefely& Co. Ltd.
Pais de Origem	Suíça
Parâmetros Nominais	U=115/230 V; f=50/60 Hz; S= 50 kVA

Fonte: (Autor)



Figura 3: DMI 551 (em cima) e OT275 (em baixo) da EmileHaefely

Todos os ensaios laboratoriais de alta tensão da UEM dependem exclusivamente do DMI 551, para medir altas tensões alternadas, contínuas e impulsivas. As figuras 2, 3 e 4 ilustram

circuitos de geração das altas tensões alternadas, contínuas e impulsivas no LTAT, onde para medição aplica-se o DMI.



Figura 4: circuito montado para geração e medição de altas tensões alternadas

Fonte: (Autor)



**Figura 5: circuito montado para geração e medição de altas tensões contínuas.**  
Fonte: (Autor)



**Figura 6: circuito montado para geração e medição de altas tensões impulsivas**  
Fonte: (Autor)

## CONCLUSÃO

O estudo tinha como objectivo geral, o gerir a reativação do laboratório de alta tensão da Faculdade de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane. Com procedimentos e estratégias metodológicas adequadas à natureza do estudo, conduziu-se o estudo que permitiu chegar às seguintes conclusão de que os parâmetros de laboratório conseguidos na pesquisa melhorarão a realização de ensaios de rotinas usando tensões mais elevadas de correntes alternadas, para investigar o comportamento do dieléctrico de isolamento usando tensões de corrente contínua e impulsiva, que figuram como simulações mais comuns para testar a capacidade dos equipamentos em sistemas de potência de suportar as sobretensões de tensões impulsivas