



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CAMPUS DE BOM JESUS DA LAPA - BA
COLEGIADO DO CURSO DE
GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Rodrigo de Almeida Ferreira

**Estudo de Caso: Análise dos SPDAs e
Aterramento Elétrico do Centro Multidisciplinar
de Bom Jesus da Lapa-BA (UFOB-CMBJL)**

Orientadora: Profa. Ma. Andressa Pereira Oliveira
Coorientador: Prof. Dr. Antônio José Sobrinho de Sousa

Rodrigo de Almeida Ferreira

Estudo de Caso: Análise dos SPDAs e Aterramento Elétrico do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa-BA (UFOB-CMBJL)

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação submetido ao Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Oeste da Bahia como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Linha de Pesquisa: Sistemas de Potência

Banca Examinadora:

Orientadora:

Prof. Ma. Andressa Pereira Oliveira
Orientadora - UFOB

Coorientador:

Prof. Dr. Antônio José Sobrinho de Sousa
Coorientador - UFBA

1º Membro:

Prof. Dr. Manoel Messias Silva Júnior
Examinador Interno - UFOB

2º Membro:

Prof. Dra. Stefânia de Oliveira Silva
Examinadora Interna – UFOB

3º Membro:

Prof. Dr. Kleymilson do Nascimento Souza
Examinador Interno – UFOB

Bom Jesus da Lapa - Bahia, 30 de julho de 2025.

FICHA CATALOGRÁFICA

F383

Ferreira, Rodrigo de Almeida

Estudo de caso: Análise dos SPDAs e Aterramento Elétrico do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa-BA (UFOB – CMBJL). / Rodrigo de Almeida Ferreira. – 2025.

94f.: il.

Orientadora: Profa. Ma. Andressa Pereira Oliveira

TCC - Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA, 2025.

1. Circuitos elétricos. 2. Sistemas elétricos. 3. Aterramento elétrico. I. Oliveira, Andressa Pereira. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA. III. Título.

CDD 621.3192

Biblioteca Universitária de Bom Jesus da Lapa – UFOB

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os meus familiares e amigos que sempre acreditaram em mim e me deram muito apoio e ajuda para que esse sonho fosse realizado, em especial em memória da minha avó Dona Aparecida Rebouças, meu avô Tiô Ferreira e a meu irmão Darlan Ferreira, que com certeza estão na casa do Pai Eterno orgulhosos por mim.

AGRADECIMENTOS

Ao longo desses anos de graduação, muitos foram os desafios enfrentados para que este momento fosse alcançado, porém o Pai Celestial sempre esteve ao meu lado me guiando e conduzindo para que eu continuasse lutando e seguindo meus passos.

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me permitir chegar até aqui e ter tido força e coragem nos momentos de adversidade.

Agradeço também aos meus pais, Nivaldo das Neves Ferreira e Emília Rebouças de Almeida Ferreira por todo amor, carinho e atenção a mim concedidos, além da ajuda financeira para que pudesse estudar em outra cidade, sem eles nada disto seria possível.

Agradeço também aos meus irmãos Darlan de Almeida Ferreira (*in memoriam*), Ramon de Almeida Ferreira e Igor de Almeida Ferreira, que sempre me incentivaram a seguir nos meus estudos.

Não posso deixar de agradecer à minha avó Aparecida Rebouças de Almeida (*in memoriam*), que apesar do pouquíssimo estudo que teve, era uma pessoa extremamente sábia e sempre me incentivou nos estudos sabendo da importância da educação na vida de uma pessoa.

Sou grato também à minha namorada e futura esposa, Silvana Durães de Souza, que sempre me deu apoio durante minha graduação, com conselhos e palavras de incentivo.

Enfim, sou agradecido a todos os meus familiares e amigos que sempre me deram força para alcançar este momento tão especial.

Não obstante, agradeço a todos os meus professores, mestres e doutores que foram os facilitadores do conhecimento, sempre me auxiliando e me mostrando o caminho certo a ser seguido nos estudos. Meu especial agradecimento à Professora e Orientadora, Profa. Ma. Andressa Pereira Oliveira, ao Professor e Coorientador, Prof. Dr. Antônio José Sobrinho de Sousa, pelos esforços realizados no intuito de me auxiliarem neste trabalho de conclusão de curso, sempre com muita atenção e cuidado para com minha pessoa. Sou grato ainda a todos os funcionários do CMBJL, desde o pessoal da limpeza até à administração, pois sem o trabalho deles, o Centro não existiria. Além disso, agradeço ao MEC e à UFOB pela oportunidade de graduação no curso de Engenharia Elétrica e sou agradecido também ao PNAES pelo auxílio financeiro recebido, que foi de extrema importância para a continuação dos estudos em Bom Jesus da Lapa - Ba.

RESUMO

O Sistema de Aterramento Elétrico é de suma importância em quaisquer sistemas elétricos, pois, visa proteger pessoas de choques elétricos além de evitar prejuízos com sobrecargas que danifiquem equipamentos elétricos. Em conformidade com o Sistema Aterramento Elétrico, um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas bem projetado e com as manutenções em ordem, é mais um excelente instrumento para salvaguardar a vida de pessoas e animais e na proteção de equipamentos contra sobrecargas provenientes das descargas atmosféricas. Neste trabalho, o objetivo é analisar os aterramentos elétricos do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa e os Sistemas de Proteções Contra Descargas Atmosféricas do módulo didático e laboratorial, de forma que seja possível avaliar e inspecionar o projeto, execução e manutenção de cada sistema e os valores das resistências das hastes dos aterramentos, para que seja possível constatar o atendimento das Normas aplicáveis. O Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa é composto de: subestação abrigada, prédio principal, módulo laboratorial e módulo didático. A metodologia da pesquisa está baseada em uma revisão bibliográfica com os autores em distinção, cujos conteúdos das literaturas abordam os tipos de aterramento, projetos de SPDA, materiais utilizados e suas finalidades, além das normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Este trabalho foi desenvolvido com as medições das resistências das hastes dos aterramentos usando um Terrômetro HTR-770, além disso, verificou-se também a seção dos condutores de aterramento e o dimensionamento das malhas. Em relação aos SPDAs, foram realizadas análises de riscos em ambos os módulos didático e laboratorial fazendo o uso de uma Planilha específica, a TUPAN PLUS¹. Concomitantemente foram feitas inspeções de projeto, execução e manutenção de tais sistemas.

Palavras-Chave: Aterramento elétrico. Circuitos Elétricos. Qualidade da Energia Elétrica (QEE). Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

¹ A Planilha TUPAN PLUS 2020, foi desenvolvida pelo Instituto de Energia e Ambiente da USP.

ABSTRACT

The Electrical Grounding System is crucial to any electrical system, protecting people from electric shocks and preventing damage from overloads that damage electrical equipment. In accordance with the Electrical Grounding System, a well-designed Lightning Protection System, with regular maintenance, is another excellent tool for safeguarding the lives of people and animals and protecting equipment from overloads caused by lightning. This study aims to analyze the electrical grounding systems of the Bom Jesus da Lapa Multidisciplinary Center (UFOB-CMBJL) and the SPDAs of the teaching and laboratory modules. This allows for the evaluation and inspection of the SPDAs design, implementation, and maintenance, as well as the resistance values of the grounding rods, ensuring compliance with the applicable standards. The CMBJL consists of a sheltered substation, main building, laboratory module, and teaching module. The research methodology is based on a literature review conducted by distinguished authors, whose literature covers grounding types, LPS designs, materials used, and their purposes, as well as current ABNT standards. This work involved measuring the resistance of grounding rods using an HTR-770® Earthmeter. Furthermore, the cross-section of grounding mesh conductors and mesh dimensions were also verified. Regarding LPS systems, risk analyses were performed in both the teaching and laboratory modules using a specific TUPAN PLUS® spreadsheet. Concomitant inspections of the design, implementation, and maintenance of these systems were conducted.

Keywords: Electrical grounding. Electrical circuits. Power quality (PQ). Lightning protection system.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	<i>Alternate Current</i> (Corrente Alternada);
ADJ	<i>Adjustment</i> (Ajuste);
AT	Alta Tensão;
BT	Baixa Tensão;
CA	Corrente Alternada;
CC	Corrente Contínua;
CI	Circuito Integrado;
CMBJL	Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa;
D1	Ferimentos a seres vivos por choque elétrico;
D2	Danos físicos;
D3	Falhas de sistemas eletroeletrônicos;
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua);
DPS	Dispositivos de Proteção contra Surtos;
HTR	<i>Terrrometer Hikari</i> (Hikari Terrômetro);
I	Indica aterramento de um ponto através de impedância ou isolamento de todas as partes “vivas” em relação à terra;
IEA	Instituto de Energia e Ambiente
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> ;
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;
IT	Esquema em que um ponto da alimentação é aterrado através de impedância ou as partes “vivas” são isoladas da terra.;
L1	Perda de vida humana;
L2	Perda de serviço ao público;
L3	Perda de patrimônio cultural;
L4	Perda de valor econômico;
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Tela de Cristal Líquido);
MEC	Ministério da Educação e Cultura;
NBR	Norma Brasileira;
NR	Norma Regulamentadora;
Ø	Diâmetro;
PE	Condutor de Proteção Elétrica;

PEN	Condutor de Proteção Elétrica e Neutro;
PNAES	Plano Nacional de Assistência Estudantil;
QDC	Quadro de Distribuição de Cargas;
RH	<i>Relative Humidity</i> (Umidade Relativa);
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Raiz Quadrática Média);
SE	Subestação;
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas;
T	Indica um ponto diretamente aterrado;
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso;
TN-C	Na totalidade do esquema, são combinadas em um único condutor as funções de Neutro e de Proteção;
TN-C-S	Esquema onde são combinadas as funções de Neutro e de Proteção em um único condutor em parte do esquema;
TN-S	Esquema no qual são distintos o condutor Neutro e o condutor de Proteção;
TT	Esquema que contém diretamente aterrado um ponto da alimentação, onde as massas da instalação estão ligadas a eletrodo(s) de aterramento eletricamente distinto(s) do eletrodo de aterramento da alimentação;
UFOB	Universidade Federal do Oeste da Bahia;
USP	Universidade de São Paulo.

LISTA DE SÍMBOLOS

h_z	Fator de aumento de perda quando está presente um perigo especial;
A_l	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas próxima a uma linha;
A_L	Área de exposição equivalente para descargas atmosféricas em uma linha;
C_e	Fator ambiental;
C_i	Fator de instalação de uma linha;
C_t	Fator de tipo de linha para um transformador AT/BT na linha;
K_{S1}	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha de uma estrutura;
K_{S2}	Fator relevante à efetividade da blindagem por malha dos campos internos de uma estrutura;
K_{S3}	Fator relevante às características do cabeamento interno;
N_G	Densidade de descargas atmosféricas para a terra;
R_1	Risco de perda de vida humana em uma estrutura;
R_2	Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura;
R_3	Risco de perda de patrimônio cultural em uma estrutura;
R_4	Risco de perda de valor econômico em uma estrutura;
R_A	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura);
R_B	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura);
R_C	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na estrutura);
R_M	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica próxima à estrutura);
R_S	Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo;
R_T	Risco tolerável;
R_U	Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na linha conectada);
R_V	Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na linha conectada);

R_W	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica na linha conectada);
R_X	Componente de risco para uma estrutura;
R_Z	Componente de risco (falha dos sistemas internos – descarga atmosférica próxima à linha);
W_{m1}	Largura da blindagem 1;
W_{m2}	Largura da blindagem 2;
Z_S	Zonas de uma estrutura;
n_t	Número total esperado de pessoas (ou usuários atendidos);
n_z	Número de prováveis pessoas em perigo (vítimas ou usuários não servidos);
r_f	Fator de redução de perda dependente do risco de incêndio;
r_p	Fator de redução de perda devido às precauções contra incêndio;
r_t	Fator de redução associado ao tipo de superfície do solo;
t_z	Tempo em que pessoas estão presentes em um local perigoso, dado em horas por ano;
°C	Graus Celsius;
°F	Graus Faraday;
μm	Micrometro;
A	Ampère (tratando de corrente elétrica);
A	Área das faces (m ²) (tratando da área de um cubo);
A	Não há aterramento da alimentação (tratando de esquemas de aterramento);
B	A alimentação é aterrada através de impedância;
B	Edificação (tratando de Gerenciamento de risco);
B.1	Massas aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação;
B.2	Massas aterradas coletivamente em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação;
B.3	Massas aterradas coletivamente no mesmo eletrodo da alimentação.
dB	Decibel;
E	Borne para a malha de aterramento sob medição;
g	Gramas;

H	Altura da estrutura;
H	Borne para o eletrodo auxiliar de corrente;
Hz	Hertz;
I	Corrente de ensaio;
L	Comprimento (m);
L	Comprimento da estrutura;
m	Metro;
mm	Milímetros;
mV	Milivolt;
nA	Nanoampère;
q	Magnitude da carga eletrônica;
R	Resistência (Ω);
S	Seção (m^2);
S	Borne para a sonda ou eletrodo auxiliar de potencial (em método da Queda de Potencial);
V	Volt;
V_{TH}	<i>Threshold Voltage</i> (Tensão de Limiar);
W	Largura da estrutura;
W	Watt;
ρ	Resistividade ($\Omega.m$);
Ω	Ohm.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Elementos básicos de um aterramento elétrico	25
Figura 2 – Resistividade de um cubo de terreno de 1 m de aresta	26
Figura 3 – Variação da resistividade em função da umidade	28
Figura 4 – Desempenho da resistividade da água em função da temperatura	28
Figura 5 – Variação da resistividade do terreno em função porcentagem de sal	29
Figura 6 – Variação da resistividade do terreno em função da compactação.....	29
Figura 7 – Método da Queda de Potencial	30
Figura 8 – Símbolos usados nos esquemas de aterramento	35
Figura 9 – Esquema TN-S	36
Figura 10 – Esquema TN-C-S	36
Figura 11 – Esquema TN-C.....	37
Figura 12 – Esquema TT	37
Figura 13 – Esquema IT	38
Figura 14 – Volume de proteção provido por um mastro.....	43
Figura 15 – Ângulo de proteção conforme a classe do SPDA e altura do mastro.....	43
Figura 16 – Método da Esfera Rolante.....	44
Figura 17 – Densidade de descargas atmosféricas <i>NG</i> no Brasil	47
Figura 18 – Área de exposição equivalente <i>AD</i> de uma estrutura isolada	48
Figura 19 – Estrutura a ser considerada na avaliação para a área de exposição <i>AD</i>	49
Figura 20 – Áreas de exposições equivalentes	50
Figura 21 – Planta baixa do CMBJL com alimentação geral	55
Figura 22 – Planta baixa da Subestação abrigada do CMBJL.....	56
Figura 23 – Planta baixa da Subestação abrigada do CMBJL(Corte lateral)	56
Figura 24 – Planta baixa da Subestação abrigada do CMBJL(Corte lateral)	57
Figura 25 – Planta baixa do módulo didático com sistema SPDA.....	58
Figura 26 – Planta baixa do módulo laboratorial e sistema SPDA	59
Figura 27 – Resultados da análise de risco do módulo didático.....	67
Figura 28 – Resultados da análise de risco do módulo laboratorial	68
Figura 29 – Aba resultados atualizada na análise de risco do módulo didático	69
Figura 30 – Aba resultados atualizada na análise de risco do módulo laboratorial.....	70
Figura 31 – Hastes existentes no telhado do módulo didático	71
Figura 32 – Algumas hastes existentes no telhado do módulo laboratorial	72
Figura 33 – Presilha para cabo de cobre usada na fixação da malha de captação do módulo laboratorial	73
Figura 34 – Uma das conexões entre a captação e o subsistema de descida do módulo didático	74
Figura 35 – Uma das conexões entre a captação e o subsistema de descida do módulo laboratorial.....	75
Figura 36 – Uma das hastes de aterramento do módulo didático	76
Figura 37 – Uma das hastes de aterramento do módulo laboratorial	77
Figura 38 – DPS Classe II existente no QDC de entrada do Campus	78
Figura 39 – QDC suplementar do Campus sem a existência de DPS	79
Figura 40 – QDC na entrada de cada módulo	79
Figura 41 – QDCs de cada sala (laboratorio) do módulo laboratorial.....	80
Figura 42 – Planta baixa do CMBJL com locais de medições	81
Figura 43 – Terrômetro utilizado com os respectivos acessórios.....	82

Figura 44 – Instrumento Terrômetro Digital HTR-770 sem os acessórios	82
Figura 45 – Cabos tipo "banana" com garras "jacaré" utilizados nas medições	83
Figura 46 – Hastes auxiliares utilizadas nas medições.....	83
Figura 47 – Conexão dos cabos de testes verde, amarelo e vermelho	84
Figura 48 – Curto entre os cabos e ajuste do terrômetro	85
Figura 49 – Hastes auxiliares fixadas no solo	85
Figura 50 – Tensão de aterramento sendo medida.	86
Figura 51 – Exemplo de medição da resistência de aterramento	87
Figura 52 – Arranjo das hastes do módulo laboratorial.....	88
Figura 53 – Resistências medidas nas hastes do módulo laboratorial.....	89
Figura 54 – Arranjo das hastes do módulo didático	90
Figura 55 – Resistências medidas nas hastes do módulo didático	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ordem de grandeza da resistividade de certos materiais	27
Tabela 2 – Valores típicos de resistividade de materiais que compõem o solo.....	27
Tabela 3 – Influência da concentração de sais na resistividade solo arenoso	29
Tabela 4 – Materiais geralmente utilizados em sistemas de aterramento.....	32
Tabela 5 – Materiais geralmente utilizados em sistemas de aterramento, continuação ..	33
Tabela 6 – Seções mínimas dos condutores de aterramento	33
Tabela 7 – Relação entre classe de SPDA e nível de proteção para descargas atmosféricas	41
Tabela 8 – Valores do raio da esfera rolante de acordo a classe do SPDA	44
Tabela 9 – Valores de afastamento máximo dos condutores da malha de acordo com a classe do SPDA	45
Tabela 10 – Fator de localização da estrutura <i>CD</i>	50
Tabela 11 – Tipo de perda <i>L1</i> : Valores da perda para cada zona.....	51
Tabela 12 – Tipo de perda <i>L1</i> : típicos valores médios de <i>LT</i> , <i>LF</i> e <i>LO</i>	52
Tabela 13 – Fator de redução <i>rt</i> em função do tipo da superfície do piso ou do solo	53
Tabela 14 – Fator de redução <i>rp</i> em função das providências tomadas afim de mitigar as consequências de um incêndio	53
Tabela 15 – Fator de redução <i>rf</i> em função do risco de explosão ou incêndio na estrutura	53
Tabela 16 – Fator <i>hz</i> aumentando a quantidade relativa de perda caso exista um perigo especial	54
Tabela 17 – Resultados das medições no módulo laboratorial.....	89
Tabela 18 – Resultados das medições no módulo didático	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo de inconformidades e ações corretivas recomendadas	91
Quadro 2 – Resumo de inconformidades e ações corretivas recomendadas, continuação	92

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	21
1.1.	JUSTIFICATIVA	21
1.2.	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	22
1.3.	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	22
1.4.	OBJETIVOS.....	22
1.4.1.	<i>Objetivo Principal</i>	23
1.4.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	23
1.5.	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	23
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1.	ATERRAMENTO ELÉTRICO.....	25
2.2.	RESISTÊNCIA E RESISTIVIDADE DO TERRENO	26
2.2.1.	<i>A Resistividade dos Solos</i>	26
2.2.2.	<i>Fatores que determinam a resistividade dos solos</i>	27
2.2.2.1.	<i>A influência da natureza dos solos</i>	27
2.2.2.2.	<i>A influência da umidade</i>	27
2.2.2.3.	<i>A influência da temperatura do terreno</i>	28
2.2.2.4.	<i>A influência da concentração de sais dissolvidos na água</i>	28
2.2.2.5.	<i>A influência da compactação do terreno</i>	29
2.2.2.6.	<i>A influência da estratificação do terreno</i>	30
2.3.	MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO – MÉTODO DA QUEDA DE POTENCIAL.....	30
2.4.	ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO.....	31
2.4.1.	<i>Eletrodos de Aterramento</i>	31
2.4.2.	<i>Condutores de Aterramento</i>	33
2.5.	EQUIPOTENCIALIZAÇÃO	33
2.5.1.	<i>Equipotencialização Principal</i>	33
2.5.2.	<i>Equipotencialização Local</i>	34
2.6.	ESQUEMAS DE ATERRAMENTO	35
2.6.1.	<i>Esquema TN</i>	36
2.6.2.	<i>Esquema TT</i>	37
2.6.3.	<i>Esquema IT</i>	38
2.7.	PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS	39
2.7.1.	<i>Proteção Básica</i>	39

2.7.2.	Proteção Supletiva	39
2.7.3.	Proteção Adicional	39
2.8.	SPDA	40
2.8.1.	Componentes do SPDA	40
2.8.1.1.	<i>Captação</i>	40
2.8.1.2.	<i>Descidas</i>	40
2.8.1.3.	<i>Aterramento</i>	40
2.9.	CLASSE DO SPDA	41
2.9.1.	Continuidade da Armadura de Aço em Estruturas de Concreto Armado	41
2.9.2.	Sistema Externo de Proteção Contra Descargas Atmosféricas	42
2.9.3.	Subsistema de Captação	42
2.9.3.1.	<i>Método de Franklin ou método do ângulo de proteção</i>	42
2.9.3.2.	<i>Método eletrogeométrico ou método da esfera rolante</i>	44
2.9.3.3.	<i>Método da gaiola de Faraday ou método das malhas</i>	45
2.10.	GERENCIAMENTO DE RISCO	46
2.10.1	. Dividindo a Estrutura em Zonas Zs	46
2.10.2	. Densidade de Descargas Atmosféricas NG	46
2.10.3	. Análise do Número Anual N de Eventos Perigosos	47
2.10.3.1.	<i>Determinação da Área de Exposição Equivalente AD</i>	48
2.10.4	. Análise de Quantidade de Perda LX	50
2.10.4.1.	<i>Perda de vida humana (L1)</i>	51
3.	O CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA-BA (CMBJL)	55
4.	A SUBESTAÇÃO ABRIGADA DO CMBJL	56
5.	O MÓDULO DIDÁTICO DO CMBJL	58
6.	O MÓDULO LABORATORIAL DO CMBJL.....	59
7.	ANÁLISE DE RISCO.....	60
7.1.	ZONAS DE ESTUDO (ZS).....	60
7.2.	DADOS TÉCNICOS	60
7.2.1.	Dados da Estrutura	60
7.2.2.	Influências Ambientais	60
7.2.3.	Risco de Incêndio ou Explosão	61
7.2.4.	Medidas de Proteção ou Mitigação do Risco	61
7.2.4.1.	<i>Proteção por SPDA</i>	61

7.2.4.2.	<i>Meios para reduzir as consequências de incêndios</i>	61
7.2.5.	<i>Atributos da Linha de Energia Conectada</i>	61
7.2.5.1.	<i>Comprimento da linha conectada</i>	61
7.2.5.2.	<i>Área de exposição adjacente</i>	62
7.2.5.3.	<i>Fator ambiental (Ce)</i>	62
7.2.5.4.	<i>Fator de instalação dos condutores (Ci)</i>	62
7.2.5.5.	<i>Condição da blindagem, aterramento e isolamento</i>	62
7.2.5.6.	<i>Tipo de linha (Ct)</i>	62
7.2.5.7.	<i>Tensão suportável de impulso do sistema</i>	63
7.2.5.8.	<i>Resistência da blindagem do cabo (RS)</i>	63
7.2.5.9.	<i>DPS de acordo com o nível de proteção</i>	63
7.2.5.10.	<i>Fiação interna (KS3)</i>	63
7.3.	OUTROS DADOS	63
7.3.1.	<i>Medidas de Proteção Contra Tensão de Passo e Toque e Blindagem</i> ..	64
7.3.1.1.	<i>Contra tensão de passo e toque na estrutura</i>	64
7.3.1.2.	<i>Contra tensão de passo e toque na linha conectada</i>	64
7.3.1.3.	<i>Blindagem metálica contínua, sem blindagem metálica e largura da blindagem ou distâncias das descidas</i>	64
7.3.2.	<i>Fatores de Variação das Perdas</i>	64
7.3.2.1.	<i>Fator de redução pelo tipo de solo ou piso</i>	64
7.3.2.2.	<i>Fator de acréscimo devido a um perigo especial</i>	64
7.3.2.3.	<i>Risco admissível</i>	65
7.3.3.	<i>Dimensionamento das Perdas Potenciais (Montante do Risco)</i>	65
7.3.4.	<i>Fatores de Avaliação do Risco Ambiental Para as Pessoas na Zona</i> ..	65
7.3.4.1.	<i>Risco de falhas de sistemas internos</i>	65
7.3.4.2.	<i>Tipo da estrutura</i>	65
7.3.5.	<i>Valor Econômico (Perda L4)</i>	66
7.3.6.	<i>Fatores de Avaliação do Risco Ambiental Para as Pessoas na Zona</i> ..	66
7.3.6.1.	<i>Risco de falha de sistemas internos</i>	66
7.3.6.2.	<i>Tipo de estrutura</i>	66
7.4.	RESULTADOS DAS ANÁLISES DE RISCOS	66
7.4.1.	<i>Resultados da Análise de Risco Para o Módulo Didático (Sem SPDA)</i> ...	67
7.4.2.	<i>Resultados da Análise de Risco Para o Módulo Laboratorial (Sem SPDA)</i>	68

7.4.3.	<i>Resultados da Análise de Risco: Buscando Uma Solução (Módulo Didático)</i>	68
7.4.4.	<i>Resultados da Análise de Risco: Buscando Uma Solução (Módulo Laboratorial)</i>	69
8.	INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE CADA SPDA DO CMBJL.....	71
8.1.	SUBSISTEMAS DE CAPTAÇÃO DOS MÓDULOS DIDÁTICO E LABORATORIAL	71
8.2.	SUBSISTEMAS DE DESCIDA DOS MÓDULOS DIDÁTICO E LABORATORIAL	74
8.3.	SUBSISTEMAS DE ATERRAMENTO DOS MÓDULOS DIDÁTICO E LABORATORIAL	75
8.4.	MANUTENÇÃO E MELHORIA DE CADA SPDA DO CMBJL.....	77
9.	PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO	81
9.1.	METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS.....	81
9.1.1.	<i>Locais das Medições</i>	81
9.1.2.	<i>Metodologia das Medições</i>	82
10.	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
10.1.	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	88
10.1.1.	<i>Resistências das Hastes de Aterramento do Módulo Laboratorial</i>	88
10.1.2.	<i>Resistências das Hastes de Aterramento do Módulo Didático</i>	90
10.1.3.	<i>Resistências das Hastes de Aterramento da Subestação Do CMBJL</i> ...	91
10.1.4.	<i>Inspeção em Cada SPDA</i>	91
10.2.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
10.2.1.	<i>Limitações do Trabalho</i>	92
11.	CONCLUSÃO	93
11.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	93

1. INTRODUÇÃO

Segundo SOUZA (2020), o Sistema de Proteção Contra Descarga Atmosférica (SPDA) tem por finalidade proteger instalações elétricas e de telecomunicações, bem como os equipamentos internos das mais diversas edificações. O objetivo é mitigar ou reduzir os impactos dos desligamentos, as manutenções corretivas, bem como os danos contra às estruturas.

Os critérios para projeto, manutenção das medidas de proteção e instalação, contemplam dois conjuntos separados, por razões práticas, a saber:

- a) dentro de uma estrutura, as medidas de proteção visam reduzir os riscos às vidas e os danos físicos;
- b) também internamente a uma estrutura, as medidas de proteção servem para reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos.

No entendimento de Hélio Creder (2016), aterramento é a conexão de instalações ou estruturas com a terra para que a rede elétrica tenha uma referência e seja permitido que as correntes elétricas de natureza diversa fluam para a terra. Entre a natureza dessas correntes, por exemplo, estão as correntes de falta ou defeitos para a terra, correntes de raios e descargas eletrostáticas.

Em conformidade com o SPDA e para o bom funcionamento de um sistema elétrico, é necessário que seu sistema de aterramento seja projetado e montado adequadamente. Um aterramento bem-feito estabelece a garantia de uma adequada continuidade de serviço e desempenho seguro do sistema de proteção, tanto de equipamentos quanto de seres vivos. Desta forma, o tema aterramento merece uma maior atenção por parte dos usuários de instalações elétricas e profissionais da área.

1.1.JUSTIFICATIVA

Conforme tratado anteriormente e no entendimento de Kindermann (1995), é fundamental que o quesito aterramento elétrico tenha uma especial atenção para que um sistema de energia elétrica opere corretamente com continuidade no serviço e níveis aceitáveis de segurança, tanto de pessoas e animais, como patrimonial. Tratando de

SPDA, sua correta instalação e funcionamento é fundamental para garantir a segurança de pessoas e equipamentos eletroeletrônicos nas mais diversas instalações contra efeitos e danos provenientes de descargas atmosféricas. O presente trabalho irá contribuir positivamente para a formação profissional das pessoas interessadas no tema, pois muitos conceitos e estudos visto na graduação, e neste próprio trabalho, serão colocados em prática.

1.2. METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente trabalho foi realizado através de uma revisão bibliográfica, estudo de caso, coleta de dados da resistência das hastes das malhas de aterramento e análise do projeto e execução do SPDA em campo, cito no CMBJL-UFOB.

1.3. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Apesar de constar nos objetivos principal e específicos, não foi possível efetuada as medições das resistências nas hastes da malha de aterramento da subestação do CMBJL. Durante a confecção deste trabalho ocorreu uma avaria na chave de comutação da SE-CMBJL, tal avaria deverá ser sanada no momento oportuno de agendamento de manutenção, que depende exclusivamente da Pró-Reitoria de Administração (PROAD). No entanto, até a finalização deste trabalho, a PROAD não agendou, e nem executou o desligamento da SE-CMBJL. Sem o desligamento da SE-CMBJL, não foi possível efetuar as medições na referida malha de aterramento da SE-CMBJL. Além disso, não foi possível realizar a inspeção em relação à continuidade entre os subsistemas do SPDA do módulo didático bem como do módulo laboratorial, fazendo o uso de equipamento específico indicado por Norma, a exemplo do micro-ohmímetro, pois é um equipamento caro, e não está no acervo de dispositivos existentes no Campus ou na UFOB. Portanto, as inspeções das continuidades entre os subsistemas de captação, descida e aterramento dos SPDAs serão feitas de forma visual e via projeto, apenas.

1.4. OBJETIVOS

Expõe-se aqui os respectivos objetivos deste trabalho.

1.4.1. Objetivo Principal

Este estudo tem como objetivo analisar o SPDA e os aterramentos elétricos do Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa-BA (UFOB-CMBJL), a fim de verificar se os valores encontrados para as resistências das hastes de aterramento, o projeto e execução de cada SPDA, atendem às Normas existentes.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Efetuar uma revisão bibliográfica que contemple os autores mais importantes sobre o assunto de aterramento elétrico;
- Analisar o projeto de SPDA do módulo didático e do módulo laboratorial do CMBJL;
- Verificar a captação, descidas e aterramento do SPDA do módulo didático e do módulo laboratorial do CMBJL;
- Analisar as plantas da SE-CMBJL;
- Analisar e confrontar “*in loco*” os esquemas de aterramentos elétricos das plantas identificando-os na área das instalações do CMBJL;
- Efetuar, se necessário, as identificações dos poços da malha de aterramento expostas nas plantas e confrontadas em campo;
- Efetuar as medições em cada ponto da malha de aterramento da SE-CMBJL conforme a NBR 7117/2011 e a NR-10;
- Efetuar as medições em cada ponto da malha de aterramento dos módulos laboratorial e didático conforme a NBR 7117/2011 e a NR-10.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Capítulo 2 – Na Fundamentação Teórica, descreve-se os principais fenômenos físicos e elétricos intrínsecos ao assunto.

Capítulo 3 – Apresenta-se a planta do CMBJL, bem como suas respectivas características.

Capítulo 4 – Expõe-se a planta da SE-CMBJL, bem como suas respectivas características.

Capítulo 5 – Escrutina-se as plantas do módulo didático, indicando-se os respectivos poços das hastes da malha de aterramento.

Capítulo 6 – Analisa-se as plantas do Módulo Laboratorial, indicando-se os respectivos poços das hastes da malha de aterramento.

Capítulo 7 – Realiza-se as análises de riscos nos módulos didático e laboratorial do CMBJL.

Capítulo 8 – Trata-se sobre a inspeção e a manutenção de cada SPDA do CMBJL.

Capítulo 9 – Discorre-se sobre a metodologia e procedimentos utilizados nas medições das resistências nas hastes de aterramento.

Capítulo 10 – Discute-se sobre os resultados obtidos, as limitações do trabalho e as considerações finais.

Capítulo 11 – Revela-se a conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso com as sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo descreve-se os principais fenômenos físicos e elétricos envolvidos através da explanação de conhecimentos adquiridos na revisão bibliográfica dos autores e normas mais importantes sobre o assunto.

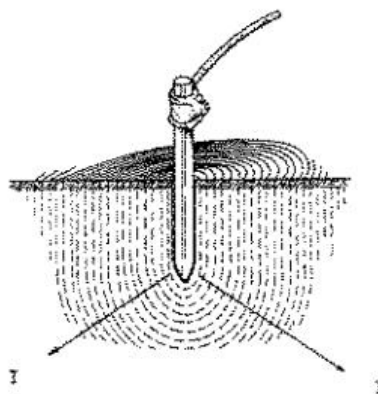
2.1. ATERRAMENTO ELÉTRICO

Cavalin (2006), explica que para o bom funcionamento de um sistema elétrico, é necessário que um sistema de aterramento seja projetado e montado de forma correta, além disso, essa correta utilização do aterramento proporciona mais segurança para as pessoas e equipamentos utilizados nas instalações elétricas. Em instalações elétricas residenciais, o não uso ou a falta de um aterramento adequado é responsável por muitos acidentes elétricos com vítimas.

De acordo com Visacro (2002), um aterramento elétrico constitui-se de uma ligação elétrica intencional de um sistema físico (elétrico, eletrônico ou corpos metálicos) ao solo. Essa ligação objetiva-se escoar para o solo correntes elétricas que em determinadas situações são indesejadas. Conforme Figura 1, um aterramento elétrico constitui-se basicamente de 3 elementos, a saber:

- As conexões elétricas que possibilitam a ligação de um ponto do sistema ao eletrodo;
- Os eletrodos de aterramento (qualquer corpo metálico inserido no solo);
- A terra que envolve os eletrodos ou corpo metálico.

Figura 1 – Elementos básicos de um aterramento elétrico



Fonte: Visacro (2002).

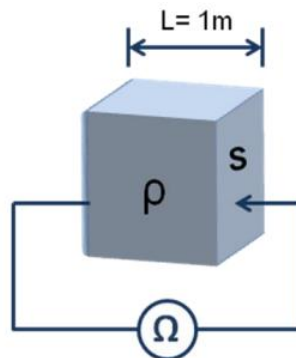
2.2. RESISTÊNCIA E RESISTIVIDADE DO TERRENO

Segundo Kindermann (1995), na elaboração de um projeto de aterramento, um dado importante é o conhecimento das características do solo, em especial sua resistividade elétrica.

2.2.1. A Resistividade dos Solos

Conforme Visacro (2002), a resistividade do solo (ρ) é definida como a resistência elétrica (R) medida entre as dimensões unitárias de um cubo, de acordo a Figura 2, com faces opostas unitárias imerso nesse solo, cuja unidade é expressa em “ Ω m”.

Figura 2 – Resistividade de um cubo de terreno de 1 m de aresta



Fonte: Leonardo (2023).

Sabe-se que:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{ou} \quad \rho = \frac{RA}{L} \quad (1)$$

Em que:

R = Resistência (Ω);

L = Comprimento (m);

A = Área das faces (m^2);

ρ = Resistividade ($\Omega \cdot m$).

Para Visacro (2002), em seu estado natural, o solo é um mau condutor de eletricidade e, estando totalmente seco, ele tem o comportamento de um material isolante. É possível observar na Tabela 1 a resistividade elevada do solo em comparação aos condutores convencionais.

Tabela 1 – Ordem de grandeza da resistividade de certos materiais

CONDUTOR	RESISTIVIDADE ($\Omega \cdot m$)
Cobre puro	$1,6 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,7 \times 10^{-8}$
Solos mais comuns	5 a 20.000

Fonte: Adaptado de Visacro (2002).

2.2.2. Fatores que determinam a resistividade dos solos

Conforme Kindermann (1995), alguns fatores influenciam na resistividade do solo, entre eles:

- Tipo de solo;
- Teor de umidade do solo;
- A temperatura do solo;
- A composição química dos sais dissolvidos na água retida;
- A compactação e pressão;
- A estratificação do solo.

2.2.2.1. A influência da natureza dos solos

A resistividade do solo varia no tempo e espaço, verticalmente e horizontalmente, sendo assim, a estrutura do solo é heterogênea. A Tabela 2 expõe valores característicos para a resistividade de diferentes meios físicos. Através desta tabela, pode-se concluir que a água do mar é um ótimo condutor de eletricidade. (NBR 7117-1, 2020).

Tabela 2 – Valores típicos de resistividade de materiais que compõem o solo

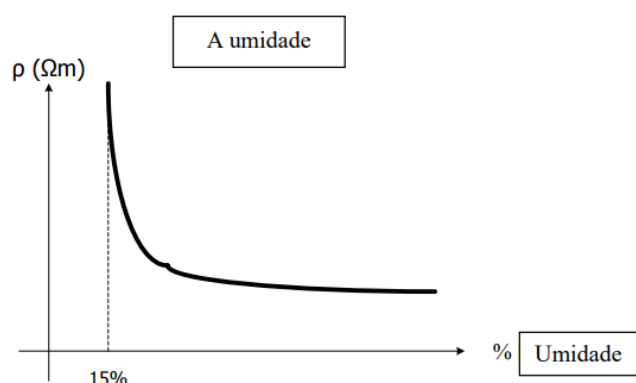
MEIO FÍSICO	FAIXA DE RESISTIVIDADES ($\Omega \cdot m$)
Água do mar	~ 0,3
Água de rio	~ 30
Água destilada	300
Alagadiço, limo, húmus, lama	< 150
Argila	300 – 5 000
Calcário	500 – 5 000
Areia	1 000 – 8 000
Granito e basalto fraturado	500 – 10 000
Granito e basalto íntegros	10 000

Fonte: Adaptado da NBR 7117-1 (2020).

2.2.2.2. A influência da umidade

De acordo Visacro (2002), a quantidade de água existente no solo afeta diretamente a sua resistividade. Como é observado na Figura 3, ao aumentar a umidade, nota-se que a resistividade do solo diminui, isso é devido ao fato da água ser o principal elemento de condução de eletricidade existente no solo.

Figura 3 – Variação da resistividade em função da umidade

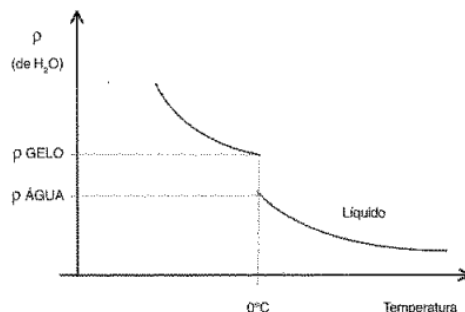


Fonte: Leonardo (2023).

2.2.2.3. A influência da temperatura do terreno

Conforme Visacro (2002), um aumento na temperatura tende a aumentar a resistividade do solo, pois a umidade diminui. Considerando que a água possui um alto coeficiente negativo de temperatura, ao diminuir a temperatura no solo, é esperado que a resistividade cresça. A Figura 4 ilustra como o aumento da temperatura reduz a resistividade da água.

Figura 4 – Desempenho da resistividade da água em função da temperatura

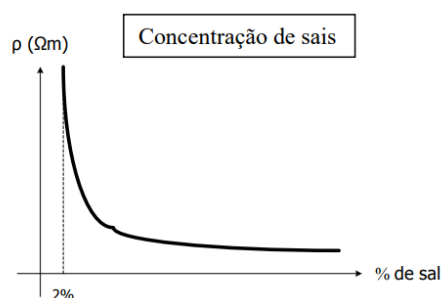


Fonte: Visacro (2002).

2.2.2.4. A influência da concentração de sais dissolvidos na água

Para Visacro (2002), a resistividade do solo tem ligação direta com os tipos e quantidades de sais retido nele. É fato que a resistividade da água é conduzida pelos sais dissolvidos nesta, sendo a condução eletrolítica, portanto, a resistividade do solo depende também da sua quantidade de água presente. A Figura 5 mostra a variação da resistividade do terreno em função porcentagem de sal.

Figura 5 – Variação da resistividade do terreno em função porcentagem de sal



Fonte: Leonardo (2023).

Para efeito de comparação, observa-se na Tabela 3 a relação entre a quantidade de sal adicionado a um solo arenoso com 15% de umidade e 17°C de temperatura. Nota-se que a adição de sal ao solo reduz significativamente sua resistividade.

Tabela 3 – Influência da concentração de sais na resistividade solo arenoso

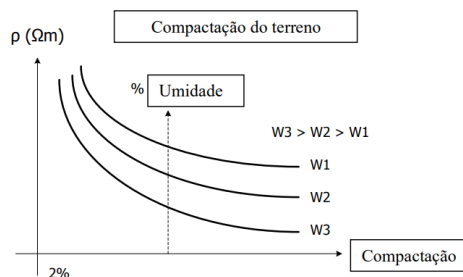
Sal adicionado (% em peso)	Resistividade (Ω m) Solo arenoso
0	107
0,1	18
1,0	1,6
5,0	1,9
10,0	1,3
20,0	1,0

Fonte: Adaptado de Visacro (2002).

2.2.2.5. A influência da compactação do terreno

Segundo Visacro (2002), um menor valor de resistividade é proporcionado em um terreno que apresenta uma maior continuidade física (mais compacto). Desta forma, é recomendado esperar um certo tempo para fazer a medição da resistividade do terreno após a instalação do sistema de aterramento, pois o terreno precisa de um determinado tempo para acomodar-se. Observa-se na Figura 6 a influência da compactação do solo na variação da resistividade, nota-se que o aumento da compactação reduz consideravelmente a resistividade do solo.

Figura 6 – Variação da resistividade do terreno em função da compactação



Fonte: Leonardo (2023).

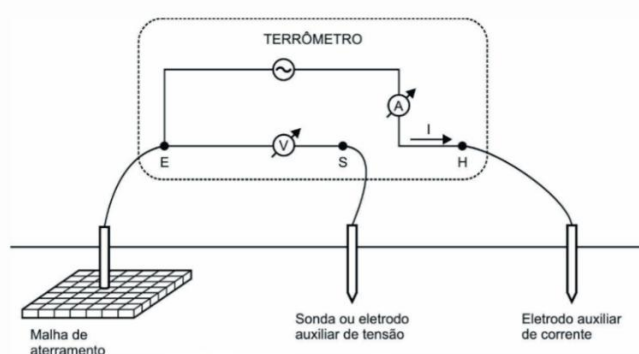
2.2.2.6. A influência da estratificação do terreno

Devido à formação geológica, o solo é formado por diferentes camadas ou estratos que possuem diferentes valores de resistividades e profundidades. Devido a falhas geológicas, esses estratos apresentam-se na forma inclinada ou vertical, mas para estudos assume-se a forma horizontal. As características dos estratos influenciam diretamente no comportamento não uniforme da resistividade do terreno (Visacro, 2002).

2.3. MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO – MÉTODO DA QUEDA DE POTENCIAL

Segundo a NBR 15749 (2009), a resistência de aterramento de um eletrodo é “a relação da tensão medida entre o eletrodo e o terra remoto e a corrente injetada no eletrodo.” Entre os métodos apresentados por essa Norma, tem-se o Método da Queda de Potencial, que é recomendado para as medições de resistência de aterramento utilizando o equipamento terrômetro. Esse método consiste basicamente em fazer percorrer uma corrente elétrica na malha de aterramento sob interesse utilizando um eletrodo auxiliar de corrente e medindo a tensão entre o terra de referência (terra remoto) e a malha de aterramento por meio de um outro eletrodo auxiliar, agora de potencial. A Figura 7 ilustra o Método da Queda de Potencial esquematizando o terrômetro com os eletrodos auxiliares e malha de aterramento:

Figura 7 – Método da Queda de Potencial



Fonte: NBR 15749 (2009).

Legenda:

- I Corrente de ensaio;
- S Borne para a sonda ou eletrodo auxiliar de potencial;
- H Borne para o eletrodo auxiliar de corrente;
- E Borne para a malha de aterramento sob medição.

Para Visacro (2002), pode-se quantificar o valor da resistência de aterramento através da relação entre a tensão aplicada a um aterramento e a corrente resultante:

$$R_T = \frac{V}{I} \quad (2)$$

Em que:

R_T	Resistência;
V	Tensão;
I	Corrente.

2.4. ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

As opções de infraestrutura e materiais utilizados em aterramento são expostos a seguir.

2.4.1. Eletrodos de Aterramento

Segundo a NBR 5410 (2008), toda edificação deve possuir uma infraestrutura de aterramento, chamada “eletrodo de aterramento”, onde é admitido as seguintes opções:

- É preferível o uso das próprias armaduras do concreto das fundações; ou
- Uso de barras, fitas ou cabos metálicos, especialmente previstos, inseridos no concreto das fundações; ou
- Usar no nível das fundações, malhas metálicas enterradas, de forma que cubra a área da edificação e, quando necessário, complementadas por hastes verticais e ou cabos dispostos radialmente, chamados “pé de galinha”; ou
- No mínimo, usar anel metálico enterrado, em volta do perímetro da edificação e, quando necessário, complementado por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente (“pés de galinha”).

Quando a adoção das medidas acima for impraticável, outras soluções de aterramentos são admitidas em instalações temporárias ou instalações em áreas descobertas, entre outras (NBR 5410, 2008).

Por questões de segurança, a infraestrutura de aterramento prevista em 3.1 deve ser planejada de forma que seja confiável e contemple os requisitos de segurança das pessoas e possa levar as correntes de falta à terra sem riscos de causar danos eletromecânicos, térmicos e termomecânicos, ou de choques elétricos causados por essas

correntes. Além disso, a infraestrutura de aterramento deve atender também aos requisitos funcionais da instalação, quando aplicável (NBR 5410, 2008). Ainda de acordo a NBR 5410 (2008), as opções de eletrodo de aterramento especificadas em 3.1 podem ser usadas de forma unida com o sistema SPDA da edificação, pois essa união é prevista pela norma NBR 5419-3 (2015).

É necessário selecionar os materiais e as dimensões dos eletrodos de aterramento de forma que apresente resistência mecânica adequada e resista à corrosão.

Desta forma, pensando nesses requisitos, a NBR 5410 (2008) apresenta a Tabela 4 que indica os materiais e as dimensões mínimas que geralmente são utilizados em sistemas de aterramentos:

Tabela 4 – Materiais geralmente utilizados em sistemas de aterramento

Material	Superfície	Forma	Dimensões mínimas			
			Diâmetro mm	Seção mm ²	Espessura do material mm	Esspessura média do material µm
Aço	Zincada a quente ¹⁾ ou inoxidável ¹⁾	Fita ²⁾		100	3	70
		Perfil		120	3	70
		Haste de seção circular ³⁾	15			70
		Cabo de seção circular		95		50
		Tubo	25		2	55
	Capa de cobre	Tubo de seção circular ³⁾	15			2000
	Revestida de cobre por eletroposição	Haste de seção circular ³⁾	15			254

Fonte: Adaptado da NBR 5410 (2008).

A Tabela 5 é uma continuação da Tabela 4 e indica também os materiais e as dimensões mínimas que geralmente são utilizados nos sistemas de aterramento:

Tabela 5 – Materiais geralmente utilizados em sistemas de aterramento, continuação

Material	Superfície	Forma	Dimensões mínimas			
			Diâmetro mm	Seção mm ²	Espessura do material mm	Espessura média do revestimento µm
Cobre	Nu ¹⁾	Fita		50	2	
		Cabo de seção circular		50		
		Cordoalha	1,8 (cada veio)	50		
		Tubo	20		2	
	Zincada	Fita ²⁾		50	2	40

1) Pode ser usado para embutir no concreto.

2) Fitas com cantos arredondados.

3) Para eletrodo de profundidade.

Fonte: Adaptado da NBR 5410 (2008).

2.4.2. Condutores de Aterramento

Para a NBR 5410 (2008), as seções dos condutores enterrados no solo não devem ser inferiores às mostradas na Tabela 6:

Tabela 6 – Seções mínimas dos condutores de aterramento

	Protegido contra danos mecânicos	Não protegido contra danos mecânicos
Protegido contra corrosão	Cobre: 2,5 mm ² Aço: 10 mm ²	Cobre: 16 mm ² Aço: 16 mm ²
Não protegido contra corrosão	Cobre: 50 mm ² Aço: 80 mm ²	

Fonte: Adaptado de NBR 5410 (2008).

2.5. EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

Segundo a NBR 5410 (2008), as equipotencializações são basicamente de dois tipos: equipotencialização principal e equipotencialização local.

2.5.1. Equipotencialização Principal

Deve ser realizado a equipotencialização principal em cada edificação de forma que se reúna os seguintes elementos (NBR 5410, 2008):

- a) Estruturas metálicas da edificação, além das armaduras de concreto armado e outras;
- b) Tubulações metálicas de esgoto, sistemas de ar-condicionado, ar comprimido, vapor de água, gás combustível e de gases industriais, entre outras, assim como os elementos estruturais metálicos associados a essas tubulações;
- c) Os condutos metálicos das linhas de sinal e de energia que saem e/ou entram na edificação;
- d) Coberturas, capas metálicas, blindagens e armações de cabos, bem como os condutos metálicos, das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- e) Condutores de proteção das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- f) Condutores de interligação advindos de outros eletrodos de aterramento que existam ou sejam previstos no entorno da edificação;
- g) Condutores de interligação advindos de eletrodos de aterramento de edificações vizinhas, nos casos em que for necessária ou recomendável essa interligação;
- h) Condutor neutro da alimentação elétrica, a menos que esse condutor neutro não exista ou se a edificação tiver que ser alimentada, por qualquer motivo, em esquema IT ou TT;
- i) Condutor(es) de proteção principal(is) da instalação elétrica instalados internamente na edificação.

2.5.2. Equipotencialização Local

Pode ser necessária por razões de proteção contra choques ou por razões funcionais, a realização de equipotencializações locais ou equipotencializações suplementares, incluindo ainda a prevenção contra perturbações eletromagnéticas, (NBR 5410, 2008).

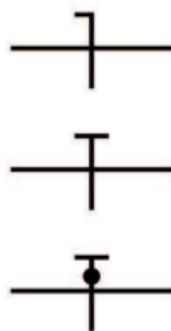
2.6. ESQUEMAS DE ATERRAMENTO

A NBR 5410 (2008) considera os seguintes esquemas de aterramento: Esquema TN, Esquema TT e Esquema IT, cabendo as seguintes observações sobre as ilustrações e símbolos utilizados:

- a) Devem ser interpretadas de forma genérica as figuras que ilustram os esquemas de aterramento;
- b) É utilizada a seguinte simbologia para classificar os esquemas de aterramento:
 - A primeira letra indica a situação da alimentação em relação à terra, T indica um ponto diretamente aterrado e I indica aterramento de um ponto através de impedância ou isolamento de todas as partes “vivas” em relação à terra;
 - A segunda letra indica a situação das massas da instalação elétrica em relação à terra, T indica massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação e N indica massas conectadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado geralmente é o ponto neutro).
 - Caso haja outras letras, elas mostram a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, sendo a letra S indicando que as funções de neutro e de proteção são asseguradas por condutores distintos e a letra C indicando que as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor (chamado condutor PEN).

Os símbolos utilizados na literatura estão presentes na Figura 8:

Figura 8 – Símbolos usados nos esquemas de aterramento



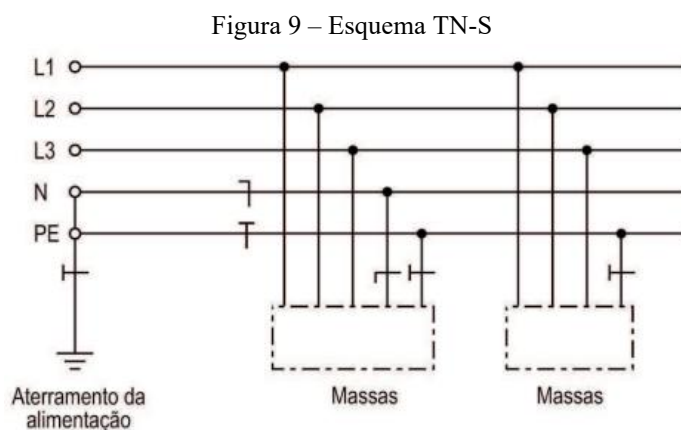
Fonte: Adaptado da NBR 5410 (2008).

Na Figura 8, o primeiro símbolo representa o condutor neutro (N), o segundo símbolo representa o condutor de proteção (PE) e o terceiro símbolo representa o condutor combinando as funções de neutro e proteção (PEN).

2.6.1. Esquema TN

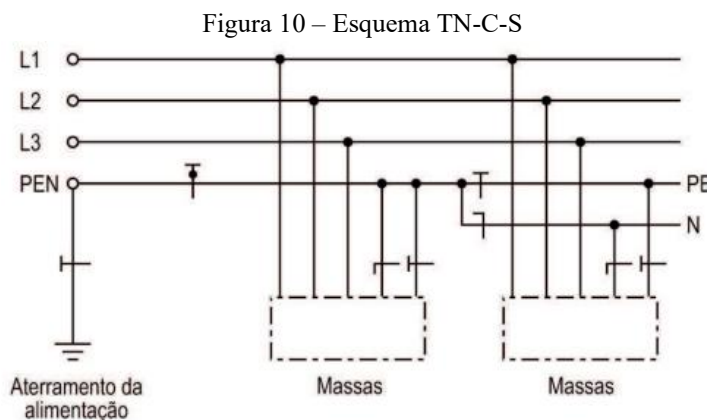
De acordo a NBR 5410 (2008), este esquema possui um ponto de alimentação aterrado de forma direta, onde as massas são ligadas ao ponto através de condutores de proteção. Conforme a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, três variantes de esquema TN são consideradas:

- a) Esquema TN-S, ilustrado na Figura 9, onde são distintos o condutor neutro e o condutor de proteção.



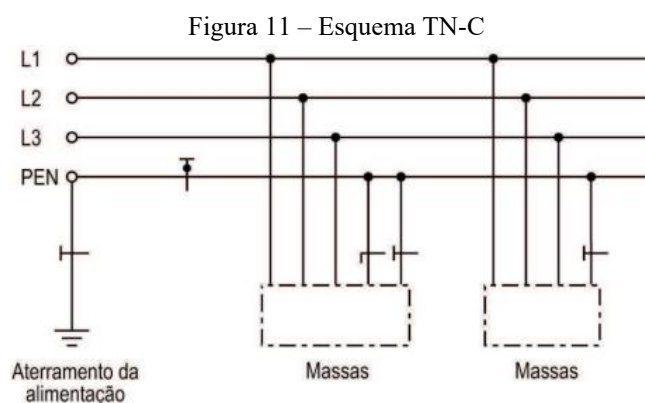
Fonte: NBR 5410 (2008).

- b) Esquema TN-C-S, exibido na Figura 10, em que são combinadas as funções de neutro e de proteção em um único condutor em parte do esquema.



Fonte: NBR 5410 (2008).

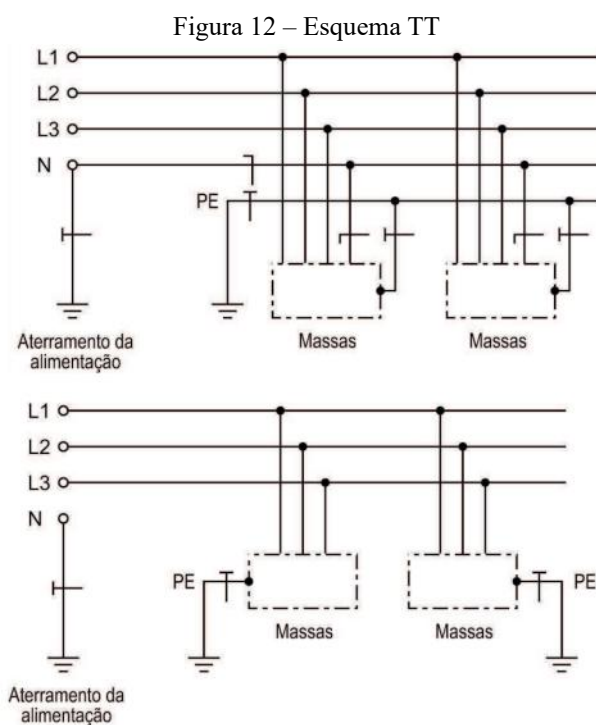
- c) Esquema TN-C, na totalidade do esquema, são combinadas em um único condutor as funções de neutro e de proteção, conforme exposto na Figura 11.



Fonte: NBR 5410 (2008).

2.6.2. Esquema TT

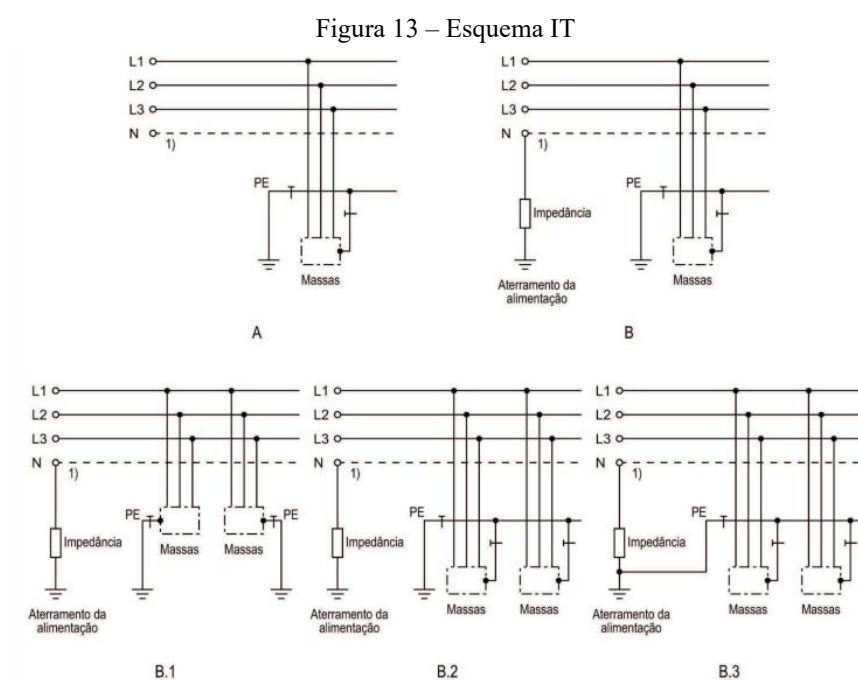
Conforme a NBR 5410 (2008), o esquema TT contém um ponto da alimentação diretamente aterrado, onde as massas da instalação estão ligadas a eletrodo(s) de aterramento eletricamente distinto(s) do eletrodo de aterramento da alimentação como mostrado na Figura 12.



Fonte: Adaptado da NBR 5410 (2008).

2.6.3. Esquema IT

Segundo a NBR 5410 (2008), no esquema IT, um ponto da alimentação é aterrado através de impedância ou com as partes “vivas” isoladas da terra. São aterradas as massas da instalação, conferindo-se as seguintes possibilidades: aterradas as massas no mesmo eletrodo de aterramento da alimentação, caso exista, e aterradas as massas em eletrodo(s) de aterramento próprio(s), seja por motivo de não haver eletrodo de aterramento da alimentação, seja por motivo de que o eletrodo de aterramento das massas é independente do eletrodo de aterramento da alimentação. A Figura 13 ilustra diversos arranjos para o Esquema IT.



Fonte: NBR 5410 (2008).

Em que:

- 1) O neutro pode ou não ser distribuído;
 - A Não há aterramento da alimentação;
 - B A alimentação é aterrada através de impedância;
 - B.1 Massas aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação;
 - B.2 Massas aterradas coletivamente em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação;
 - B.3 Massas aterradas coletivamente no mesmo eletrodo da alimentação.

2.7. PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS

Segundo Visacro (2002), o corpo humano é percorrido por uma corrente elétrica ao ser submetido a uma diferença de potencial, essa corrente elétrica pode resultar em diversas condições de risco para o indivíduo.

Conforme a NBR5410 (2008), as medidas de proteção contra choques elétricos se fundamentam nos seguintes princípios:

- a) Não devem ser acessíveis as partes “vivas” e perigosas; e
- b) Não devem oferecer perigo as partes condutivas acessíveis ou massas, tanto em condições normais, quanto, em particular, nos casos que ocorrem alguma falha que as tornem “vivas” acidentalmente.

Assim, em caráter geral, dois tipos de proteções compreendem à proteção contra choques elétricos: proteção básica e proteção supletiva.

2.7.1. Proteção Básica

Conforme NBR5410 (2008), proteção básica é o meio que se destina a impedir o contato, em condições normais, com perigosas partes “vivas” (energizadas). Como exemplos temos: isolamento ou separação básica, uso de invólucro ou barreira, além de limitação da tensão.

2.7.2. Proteção Supletiva

Entende-se como o meio que se destina a suprir a proteção contra choques elétricos quando partes condutivas acessíveis ou massas tornam-se “vivas”, acidentalmente. Exemplo: separação elétrica, isolamento, seccionamento automático da alimentação e equipotencialização.

2.7.3. Proteção Adicional

A NBR 5410 (2008) ainda define outro tipo de proteção, a proteção adicional. Segundo esta Norma, em situações de anulação das medidas normalmente aplicáveis ou de maior risco de perda, a proteção adicional é o meio destinado a garantir a proteção contra choques elétricos. A proteção adicional é ainda indicada em situações ou locais em que são particularmente graves os perigos do choque elétrico e/ou tenha dificuldade no atendimento pleno das condições de segurança associadas a determinada medida de proteção.

2.8. SPDA

Conforme SOUZA (2020), de forma geral, o SPDA tem a função de direcionar e proteger uma edificação ao captar a corrente elétrica proveniente da queda de raios. Por meio dos sistemas de captação e descida, a corrente captada é escoada através do sistema de aterramento.

O SPDA completo é constituído de um sistema de proteção interno e outro sistema de proteção externo. O sistema interno possui dispositivos que amenizam os efeitos magnéticos e elétricos nos circuitos e equipamentos elétricos internos provenientes das descargas atmosféricas. Já o sistema externo é constituído em captores, condutores de descidas e sistemas de aterramento. (SOUZA, 2020).

2.8.1. Componentes do SPDA

Para a ABNT NBR 5419-1 (2015), um SPDA tem em sua construção vários componentes diferentes, sendo que cada componente possui uma função específica dentro do sistema.

2.8.1.1. Captação

De acordo a ABNT NBR 5419-1 (2015), flui no condutor de captação atingido uma grande parcela da corrente elétrica proveniente de uma descarga atmosférica. Em alguns casos ocorre o efeito de erosão de arcos, nos casos onde existem componentes naturais de SPDA, como acabamentos metálicos de paredes ou coberturas metálicas finais.

2.8.1.2. Descidas

Segundo a ABNT NBR 5419-1 (2015), a corrente originada de uma descarga atmosférica é dividida entre condutores localizados próximos um do outro, causando nestes efeitos mecânicos e térmicos.

2.8.1.3. Aterramento

Conforme a ABNT NBR 5419-1 (2015), contrário à captação, um SPDA típico possui vários componentes em contato com a terra, a corrente da descarga atmosférica é dividida entre vários eletrodos e os efeitos associados a arcos são menos importantes.

2.9. CLASSE DO SPDA

Segundo SOUZA (2020), os níveis de proteção e os dados da estrutura influenciam diretamente nas características do SPDA a ser instalado. Conforme mostra a Tabela 7, os níveis de proteção estão relacionados às possíveis classes de SPDA.

Tabela 7 – Relação entre classe de SPDA e nível de proteção para descargas atmosféricas

Nível de proteção	Classe do SPDA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Fonte: Adaptado de ABNT NBR5419-3 (2015).

Por meio da parte 2 da ABNT NBR5419 (2015), após a avaliação de risco, seleciona-se a classe do SPDA. Dependem da escolha da classe os seguintes parâmetros:

- parâmetros da descarga atmosférica;
- raio da esfera no método da esfera rolante;
- tamanho da malha;
- ângulo de proteção;
- distância típica entre os condutores de descida e os condutores em anel;
- distância de segurança contra centelhamento perigoso;
- comprimento mínimo dos eletrodos de aterramento.

2.9.1. Continuidade da Armadura de Aço em Estruturas de Concreto Armado

De acordo SOUZA (2020), ao projetar um SPDA para uma estrutura, observa-se inicialmente se essa estrutura é dotada de armadura eletricamente contínua no interior de uma estrutura de concreto armado, haja vista que essa pode servir de condutor natural da corrente elétrica proveniente de descargas atmosféricas. Para ser uma estrutura com armadura eletricamente contínua, pelo menos 50% das conexões entre barras verticais e horizontais deverão estar firmemente unidas ou conectadas através de solda, arame recozido, cintas, grampos, trespassados com uma sobreposição mínima de 20 vezes o seu diâmetro.

2.9.2. Sistema Externo de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

O SPDA externo tem como finalidade conduzir para a terra as descargas atmosféricas que atingem diretamente a cobertura ou a lateral da estrutura. Ele também visa conduzir a corrente proveniente dessas descargas sem causar danos térmicos ou mecânicos, centelhamentos, explosões ou incêndios. Desde que atendam aos requisitos específicos, podem ser usados como componentes naturais do SPDA, vigamentos metálicos e a ferragem estrutural do concreto armado, SOUZA (2020).

2.9.3. Subsistema de Captação

Conforme SOUZA (2020), esse subsistema pode ser formado pela combinação de hastes, condutores suspensos e/ou condutores em malha. Por meio do correto posicionamento dos elementos captadores e do subsistema de captação, determina-se o volume de proteção.

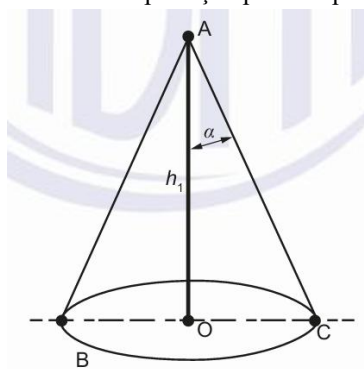
O subsistema de captação deve ter seus componentes instalados nas beiradas das estruturas e nos cantos mais elevados, levando em conta um ou mais dos seguintes métodos:

- a) Método *Franklin* ou Método do Ângulo de Proteção;
- b) Método da Esfera Rolante;
- c) Método das Malhas.

2.9.3.1. Método de Franklin ou método do ângulo de proteção

Segundo SOUZA (2020), utiliza-se esse método em estruturas constituídas de área horizontal reduzida e altura limitada, conforme com a classe do SPDA a ser instalado. Deve oferecer uma proteção, que é consolidada por meio de um cone com vértice na extremidade superior do captor e cuja geratriz faça um ângulo α com a vertical, como é observado na Figura 14. Se a área correspondente ao cone for menor do que a área da estrutura a ser protegida, deve-se instalar mais de um captor na edificação para a sua proteção total.

Figura 14 – Volume de proteção provido por um mastro



Fonte: ABNT NBR5419-3 (2015).

Sendo

A = topo do captor;

B = plano de referência;

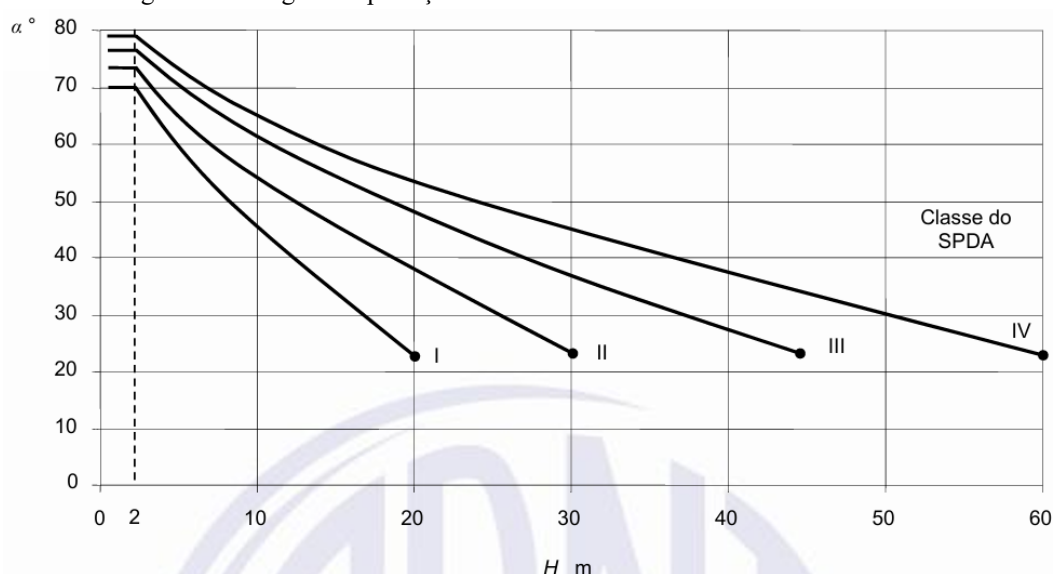
OC = raio da base do cone de proteção;

h_1 = altura de um mastro acima do plano de referência;

α = ângulo que muda conforme a classe do SPDA e a altura (h_1) em questão.

A partir da Figura 15, pode-se obter os valores dos ângulos α relacionados a cada classe de SPDA e assim usá-los no Método *Franklin* ou Método do Ângulo de Proteção.

Figura 15 – Ângulo de proteção conforme a classe do SPDA e altura do mastro



Fonte: ABNT NBR 5419-3 (2015).

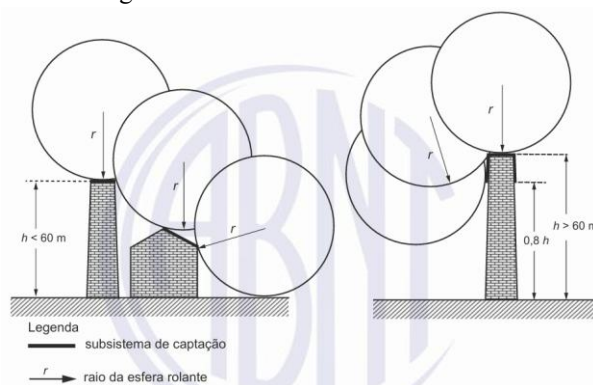
Em relação à Figura 15, o eixo horizontal trata da altura h_1 do captor acima do plano de referência da área a ser protegida. O eixo vertical corresponde ao valor do ângulo

α , dado em graus. É importante destacar que para alturas h_1 maiores do que os valores finais de cada curva, são usados apenas o Método das Malhas ou o Método da Esfera Rolante, segundo SOUZA (2020).

2.9.3.2. Método eletrogeométrico ou método da esfera rolante

Conforme SOUZA (2020), em estruturas com elevada altura ou formas arquitetônicas complexas, o Método da Esfera Rolante é o mais utilizado. Esse método usa uma esfera fictícia, que rola pela estrutura em todas as possíveis direções, como é observado na Figura 16. Quando a estrutura a ser protegida não for tocada em nenhum ponto pela esfera fictícia ao rolar em volta e no topo da estrutura, considera-se o posicionamento do subsistema de captação adequado. Nessa análise o subsistema de captação não é levado em conta.

Figura 16 – Método da Esfera Rolante



Fonte: ABNT NBR5419-3 (2015).

O raio da esfera fictícia muda em função da classe do SPDA, Tabela 8.

Tabela 8 – Valores do raio da esfera rolante de acordo a classe do SPDA

Classe do SPDA	Raio da esfera rolante (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

Fonte: Adaptado de ABNT NBR5419-3 (2015).

Em estruturas maiores que 60 m, deve ser considerada a instalação de captação lateral na parte superior posicionada a 20% do topo da altura da estrutura, pois, a probabilidade de descargas atmosféricas ocorrerem na lateral das estruturas de altura elevada, segundo estatísticas, aumenta significativamente em função da altura do ponto de impacto.

2.9.3.3. Método da gaiola de Faraday ou método das malhas

De acordo SOUZA (2020), em estruturas com grandes áreas horizontais, como exemplo os telhados horizontais e inclinados sem curvatura, é indicado o Método das Malhas. Indica-se também esse método na proteção de superfícies laterais planas contra descargas atmosféricas laterais.

O Método da gaiola de Faraday ou Método das malhas, baseia-se em uma malha de captação composta de condutores espaçados entre si na distância correspondente ao nível de proteção, como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores de afastamento máximo dos condutores da malha de acordo com a classe do SPDA

Classe do SPDA	Afastamento máximo dos condutores da malha (em metros)
I	5 x 5
II	10 x 10
III	15 x 15
IV	20 x 20

Fonte: Adaptado de ABNT NBR5419-3 (2015).

Segundo a ABNT NBR5419-3 (2015), devem ser atendidos alguns requisitos no uso desse método:

- a) Os captadores e os condutores horizontais deverão ser instalados:
- b) nas bordas (periferia) da cobertura da estrutura a ser protegida;
- c) nas partes mais elevadas horizontalmente da cobertura e da estrutura na qual é desejada a proteção.
- d) Garantir que as partes metálicas que não possam oferecer a condição de elemento captor não faça parte do volume protegido pela malha do subsistema de captação.
- e) A trajetória dos condutores da malha deve ser a mais retilínea e curta possível.
- f) As medidas da malha não podem ultrapassar os valores dados na Tabela 9.
- g) O subsistema de captação deve ser feito levando em conta que a corrente elétrica decorrente da descarga atmosférica sempre encontre com o subsistema de aterramento, através de dois caminhos condutores diferentes, no mínimo.

2.10. GERENCIAMENTO DE RISCO

Conforme descrito na Planilha TUPAN PLUS (2020), deve-se conhecer bem a estrutura a ser avaliada para que se faça uma boa análise de risco, além disso, é necessário ter conhecimento das quatro partes da NBR5419 (2015) bem como as técnicas de proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.

2.10.1. Dividindo a Estrutura em Zonas Z_s

De acordo a NBR5419-2 (2015), uma estrutura pode ser dividida em zonas Z_s , cada uma com sua própria característica, para a avaliação de cada componente de risco. Porém, é possível uma estrutura ser uma zona única, ou assumir ser.

h) Define-se as zonas Z_s principalmente por:

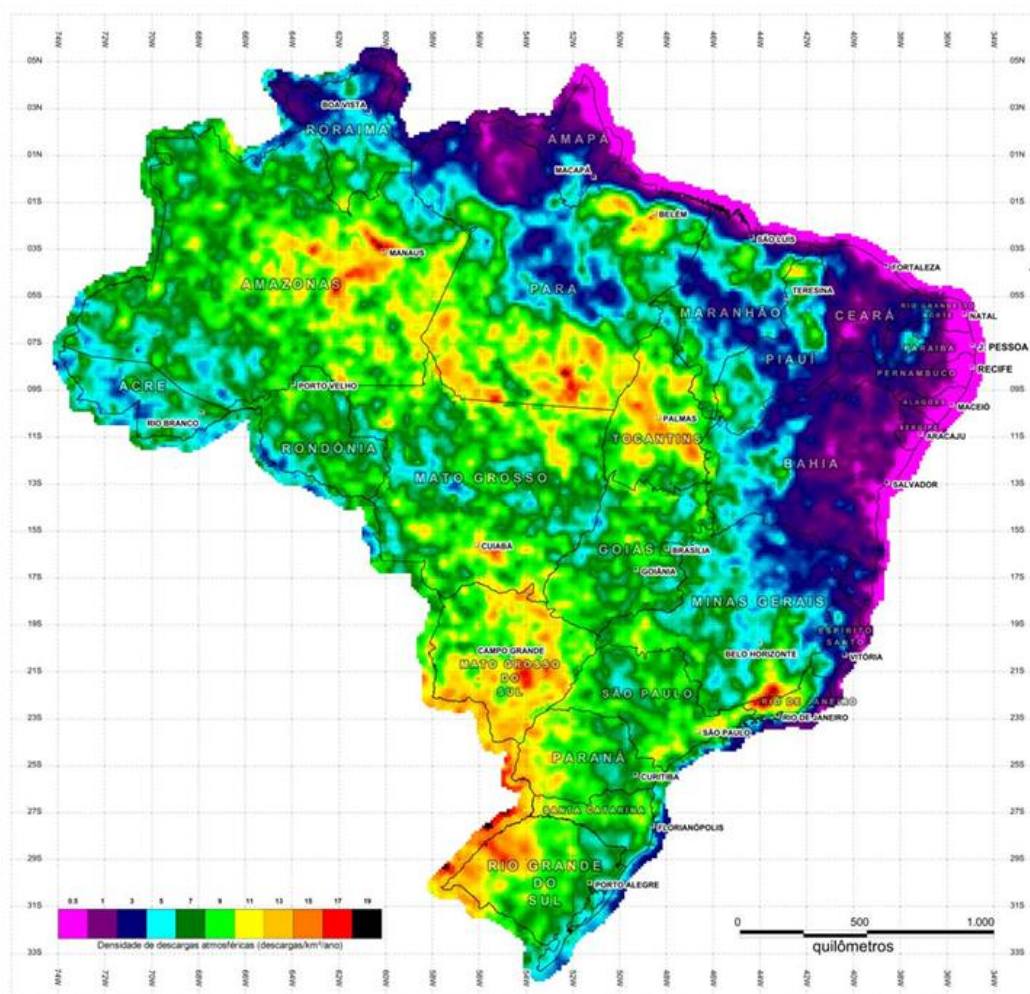
- Tipo de solo ou piso (componentes de risco R_A e R_U);
- Compartimentos à prova de fogo (componentes de risco R_B e R_V);
- Blindagem espacial (componentes de risco R_C e R_M).

i) Define-se as zonas adicionais de acordo com:

- Medidas de proteção que já existem ou que serão instaladas (todos componentes de risco);
- Valores de perdas L_X (todos componentes de risco);
- Diagrama dos sistemas internos (componentes de risco R_C e R_M).

2.10.2. Densidade de Descargas Atmosféricas N_G

Para obter as informações sobre as densidades de descargas atmosféricas numa determinada localidade, é sugerido o uso do Anexo F da NBR5419-2 (2015). Observa-se na Figura 17 os valores das densidades no mapa do Brasil, valores menores que 0,5 descargas atmosféricas/km²/ano ou superiores a 19 descargas atmosféricas/km²/ano são representados no mapa pelas cores das paletas da extremidade da escala: lilás claro (0,5) e preto (19). São representados no mapa por tons de cor indicados na escala, os valores intermediários a esses limites.

Figura 17 – Densidade de descargas atmosféricas N_C no Brasil

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015).

2.10.3. Análise do Número Anual N de Eventos Perigosos

Segundo a NBR5419-2 (2015), o número médio N por ano de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas que causam influência na estrutura a ser protegida depende das características físicas da estrutura e da atividade atmosférica da região onde a estrutura está localizada. Para fazer o cálculo do número N , multiplica-se a densidade de descargas atmosféricas para a terra N_C pela área de exposição equivalente da estrutura, considerando os fatores de correção para as características físicas da estrutura. Essa densidade é o número de descargas atmosféricas por km^2 por ano, no Brasil seus valores são disponibilizados pelo INPE.

Para uma estrutura a ser protegida, os seguintes eventos podem ser considerados como perigosos:

- Descargas atmosféricas diretas na estrutura;
- Descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- Descargas atmosféricas diretas numa linha conectada à estrutura;
- Descargas atmosféricas próximas de uma linha conectada à estrutura;
- Descargas atmosféricas em outra estrutura na qual a linha da primeira esteja conectada.

2.10.3.1. Determinação da Área de Exposição Equivalente A_D

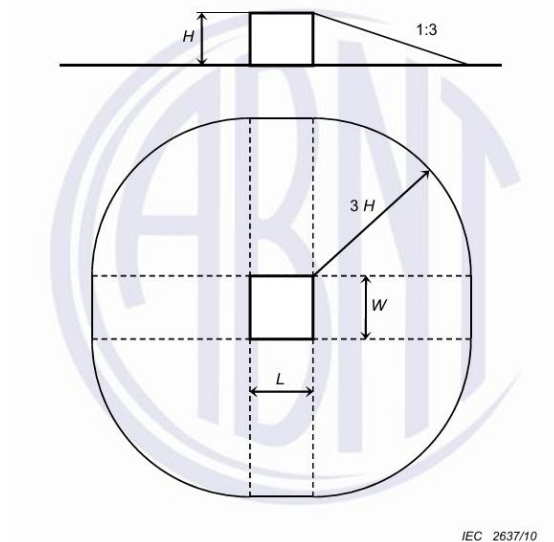
Conforme a NBR5419-2 (2015), a área de exposição equivalente A_D , para estruturas isoladas em solos planos, é a área definida pela intersecção entre a superfície do solo com uma linha reta de inclinação 1 para 3 a qual passa pelas partes mais altas da estrutura (tocando-a nestes pontos) e rotacionando em torno dela. O valor de A_D pode ser obtido matematicamente ou graficamente.

No caso de uma estrutura retangular isolada em um solo plano com comprimento L , largura W , e altura H , a área de exposição equivalente é expressa por

$$A_D = L + W + 2 * (3 * H) * (L + W) + \pi * (3 + H)^2 \quad (3)$$

Onde L , W e H são expressos em metros (Figura 18).

Figura 18 – Área de exposição equivalente A_D de uma estrutura isolada



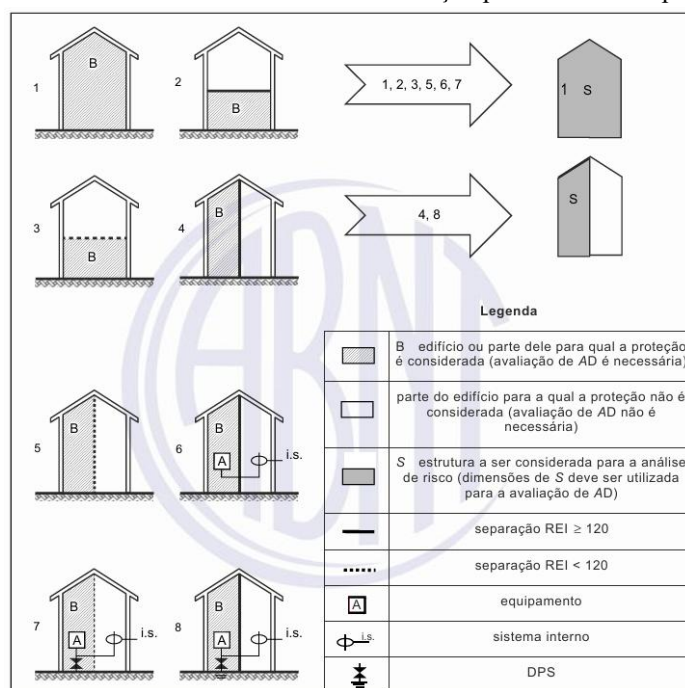
Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015).

De acordo a NBR5419-2 (2015), nos casos em que uma estrutura S a ser considerada consiste apenas em uma parte de um edifício B, as dimensões dessa estrutura podem ser utilizadas na avaliação de A_D , respeitando as seguintes condições (observar a Figura 19):

- a) O edifício B tem a estrutura S como uma parte vertical separada;
- b) Não tem risco de explosão no edifício B;
- c) Entre a estrutura S e outras partes da edificação B, a propagação de fogo pode ser retida por meio de paredes com resistência ao fogo de 120 min (REI 120) ou fazendo o uso de outras medidas de proteção equivalentes;
- d) É protegida por meio de DPS colocados no ponto de entrada das linhas na estrutura ou por meio de outra medida de proteção equivalente, a propagação de sobretensões ao longo destas linhas comuns, caso existam.

Obs.: Nos casos em que essas condições não puderem ser atendidas, as dimensões da edificação B devem ser usadas inteiramente.

Figura 19 – Estrutura a ser considerada na avaliação para a área de exposição A_D



Fonte: ABNT NBR5419-2 (2015).

Para a NBR5419-2 (2015), deve ser levada em consideração pelo fator de localização C_D a localização relativa da estrutura, compensada pelas estruturas ao redor ou por uma localização exposta. Os valores para o fator C_D são observados na Tabela 10:

Tabela 10 – Fator de localização da estrutura C_D

Localização relativa	C_D
Estrutura rodeada por objetos mais altos	0,25
Estrutura rodeada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

Fonte: Adaptado de ABNT NBR5419-2 (2015).

Na determinação do número de eventos perigosos N_D para a estrutura, avalia-se o seguinte produto:

$$N_D = N_G * A_D * C_D * 10^{-6} \quad (4)$$

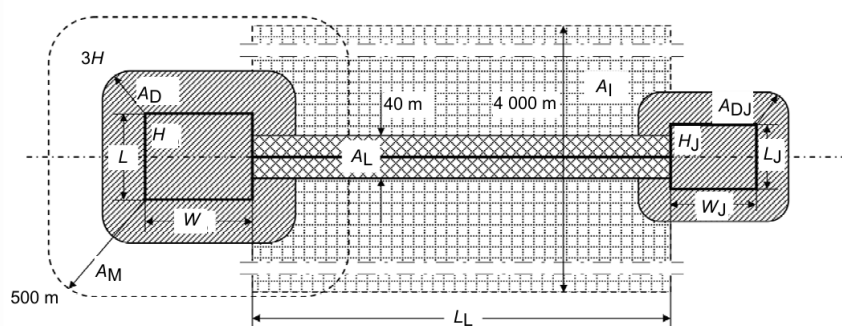
Em que

N_G = densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2 \times \text{ano}$);

A_D = área de exposição equivalente da estrutura, expressa em metro quadrado (m^2) (Figura 20);

C_D = fator de localização da estrutura (Tabela 10).

Figura 20 – Áreas de exposições equivalentes



Fonte: ABNT NBR5419-2 (2015).

2.10.4. Análise de Quantidade de Perda L_X

Segundo a NBR 5419-2 (2015), é recomendado que os valores de quantidade de perda L_X sejam fixados e avaliados pelo dono da estrutura ou o projetista do SPDA. Os valores médios típicos da perda L_X de uma estrutura dados no Anexo C da NBR5419-2, são valores meramente propostos pela IEC e adotados nesta mesma Norma.

Conforme a NBR 5419-2 (2015), a perda L_X trata da quantidade relativa média de um tipo particular de dano para um evento perigoso que tem como causa uma descarga atmosférica, levando em conta a sua extensão e os seus efeitos.

O valor de perda L_X muda de acordo o tipo de perda a ser considerada:

- L_1 (perda de vida humana, ferimento permanente incluso): a quantidade de pessoas em perigo (vítimas);
- L_2 (perda de serviço público): o número de usuários prejudicados;
- L_3 (perda de patrimônio cultural): o valor econômico da estrutura e conteúdo em perigo;
- L_4 (perda de valores econômicos): o valor econômico em perigo de estrutura (incluindo suas atividades), conteúdo, animais e sistemas internos, e, para cada tipo de perda, com o tipo de dano (D_1 , D_2 e D_3) causando a perda.

Obs.: É recomendado pela Norma que a perda L_X seja determinada para cada zona da estrutura na qual ela foi dividida.

2.10.4.1. Perda de vida humana (L_1)

De acordo a NBR5419-2 (2015), levando em conta a Tabela 11, o valor de perda L_X para cada zona pode ser determinado, considerando que:

- As características da zona afetam a perda de vida humana e são consideradas pelos fatores de aumento (h_z) e diminuição (r_t , r_p , r_f);
- A relação entre o número de pessoas na zona (n_z) versus o número total de pessoas (n_t) na estrutura inteira pode reduzir o valor máximo da perda em uma zona;
- Também irá reduzir a perda o tempo em horas por ano, durante o qual as pessoas estão presentes na zona (t_z), se este for menor que um total de 8760 h de um ano.

Tabela 11 – Tipo de perda L_1 : Valores da perda para cada zona

Tipo de dano	Localização relativa	Equação
D1	$L_A = r_t * L_T * n_z / n_t * t_z / 8760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t * L_T * n_z / n_t * t_z / 8760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p * r_f * h_z * L_F * n_z / n_t * t_z / 8760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O * n_z / n_t * t_z / 8760$	(C.4)

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419-2 (2015).

Sendo

L_T = número relativo médio característico de vítimas feridas por choque elétrico (D1) em decorrência de um evento perigoso (Tabela 12);

L_F = número relativo médio característico de vítimas por danos físicos (D2) em decorrência de um evento perigoso (Tabela 12);

L_O = número relativo médio característico de vítimas por falha de sistemas internos (D3) em decorrência de um evento perigoso (Tabela 12);

r_t = fator de redução da perda de vida humana a depender do local (Tabela 13);

r_p = fator de redução da perda devido a danos físicos que depende das providências tomadas para diminuir as consequências do incêndio (Tabela 11);

r_f = fator de redução da perda devido a danos físicos que depende do risco de explosão da estrutura ou do risco de incêndio (Tabela 12);

h_z = fator de aumento da perda devido a danos físicos quando estiver presente um perigo especial (Tabela 16);

n_z = número de pessoas existentes na zona;

n_t = número total de pessoas existentes na estrutura;

t_z = tempo, em horas por ano, durante o qual as pessoas estão presentes na zona.

Em relação à Tabela 12, seus valores são referentes ao atendimento contínuo de pessoas na estrutura e no caso de uma estrutura com risco de explosão, os valores para L_F e L_O podem necessitar de uma avaliação mais detalhada, além disso, quando o dano a estrutura em decorrência de descargas atmosféricas envolver estruturas nas redondezas ou o meio ambiente (por exemplo, emissões químicas ou radioativas), perdas adicionais podem ser consideradas na avaliação da perda total.

Tabela 12 – Tipo de perda L_1 : típicos valores médios de L_T , L_F e L_O

Tipos de danos	Valor de perda típico	Tipo da estrutura
D1 ferimentos	L_T	10^{-2} Todos os tipos
D2 danos físicos	L_F	10^{-1} Risco de explosão
		10^{-1} Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		5×10^{-2} Entretenimento público, igreja, museu
		2×10^{-2} Industrial, comercial
		10^{-2} Outros
D3 falhas de sistemas internos	L_O	10^{-1} Risco de explosão
		10^{-2} Unidade de terapia intensiva e bloco cirúrgico de hospital
		10^{-3} Outras partes de hospital

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419-2 (2015).

Observa-se na Tabela 13 outro fator de redução da perda de vida humana:

Tabela 13 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do piso ou do solo

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato $k \Omega$ ^a	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Mármore, cerâmica	1 – 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 – 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm² comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.

^b Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419-2 (2015).

Já em relação à Tabela 14, é recomendado que o valor de r_p seja tomado com o menor dos valores relevantes, caso mais de uma providência tenha sido tomada. Para todos os casos $r_p = 1$ em estruturas com risco de explosão.

Tabela 14 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas afim de mitigar as consequências de um incêndio

Providências	r_p
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático ^a	0,2

^a Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419-2 (2015).

Na Tabela 15, o valor para r_f pode necessitar de uma avaliação com mais detalhes, mas em casos de estruturas com alto risco de explosão, a carga específica de incêndio é maior que 800 MJ/m². Entre 800 e 400 MJ/m², estruturas com um risco normal de incêndio e menor que 400 MJ/m², estruturas com baixo risco de incêndio.

Tabela 15 – Fator de redução r_f em função do risco de explosão ou incêndio na estrutura

Risco	Quantidade de risco	r_f
Explosão	Zonas 0, 20 e explosivos sólidos	1
	Zonas 1, 21	10^{-1}
	Zonas 2, 22	10^{-3}
Incêndio	Alto	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Baixo	10^{-3}
Explosão ou incêndio	Nenhum	0

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419-2 (2015).

E, caso um perigo especial esteja presente, analisa-se a Tabela 16:

Tabela 16 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda caso exista um perigo especial

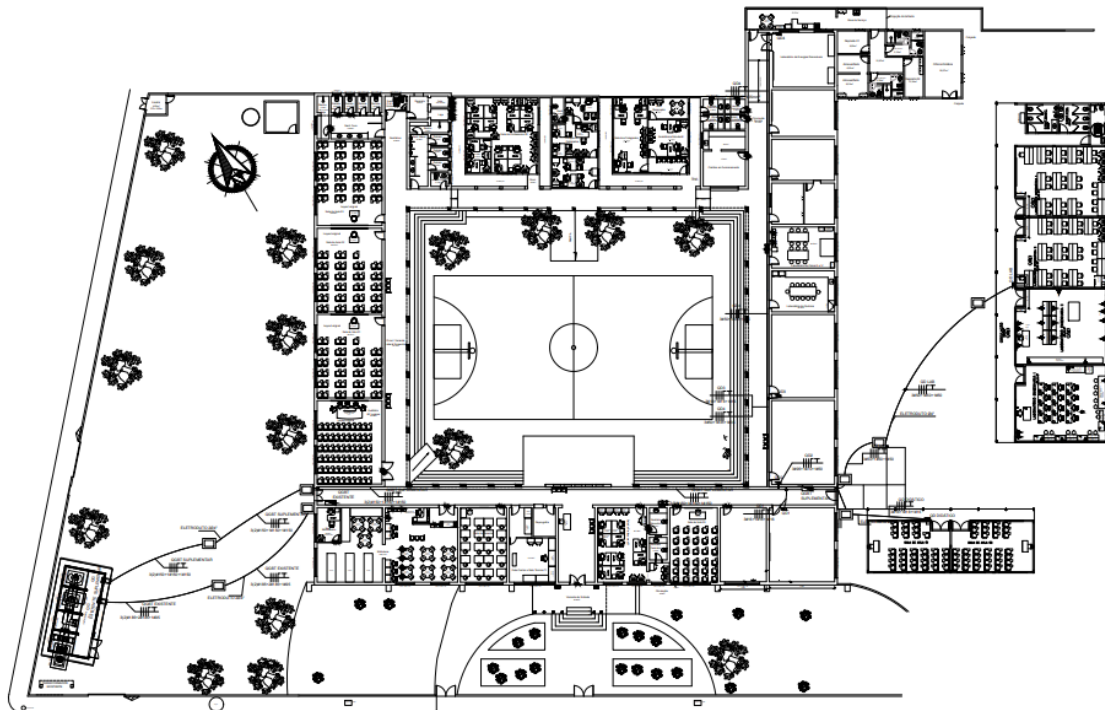
Tipo de perigo especial	h_z
Sem perigo especial	1
Baixo nível de pânico (por exemplo, uma estrutura limitada a dois andares e número de pessoas não superior a 100)	2
Nível médio de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes entre 100 e 1 000 pessoas)	5
Dificuldade de evacuação (por exemplo, estrutura com pessoas imobilizadas, hospitais)	5
Alto nível de pânico (por exemplo, estruturas designadas para eventos culturais ou esportivos com um número de participantes maior que 1 000 pessoas)	10

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5419-2 (2015).

3. O CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA-BA (CMBJL)

É apresentado na Figura 21 a planta baixa do CMBJL, além da alimentação geral. Observa-se que o Centro é composto, em seu prédio principal, por salas de aula, salas para atividades administrativas, banheiros, auditório, cantina, sala de estudos e alguns laboratórios para os cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica. Além disso, a Figura 21 também expõe o módulo laboratorial e o módulo de aula, além da subestação abrigada do Centro.

Figura 21 – Planta baixa do CMBJL com alimentação geral

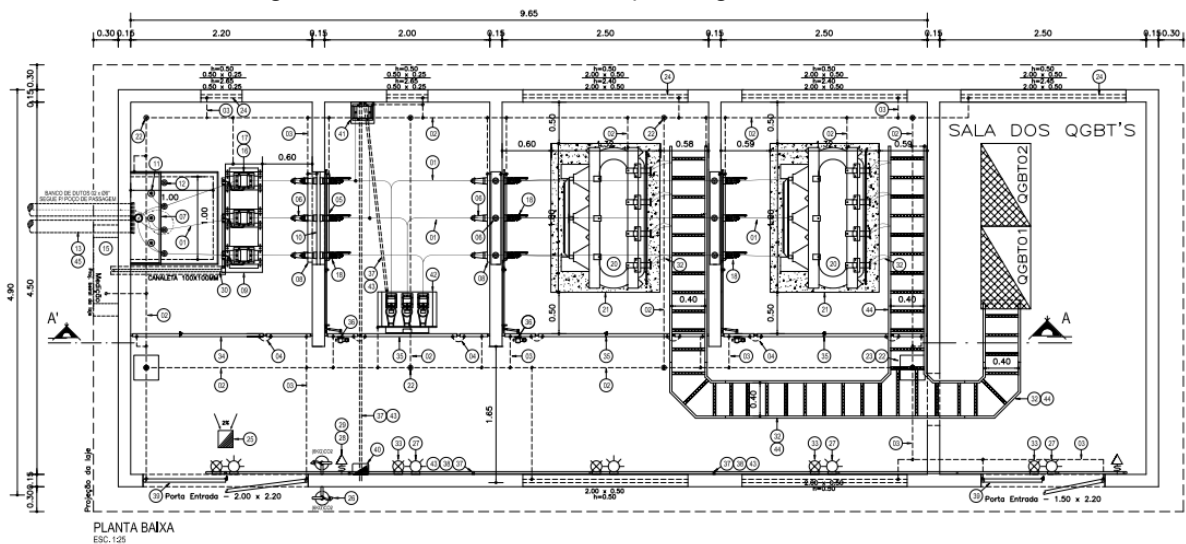


Fonte: Adaptado de ITACARAMBI (2018).

4. A SUBESTAÇÃO ABRIGADA DO CMBJL

A Figura 22 apresenta a planta baixa da subestação (SE) abrigada do CMBJL. Em relação as principais especificações desta Subestação, observa-se que ela possui dois transformadores com potência de 300 kVA (cada), tensão de entrada em 13,8 kV e tensões de 380/220V fornecidas para o CMBJL, como já mencionado. Sua malha de aterramento é interligada por um cabo de cobre nu 95 mm² possuindo 8 hastes de aço cobreado de 16 mm² com 2,4 m de comprimento cada. Além disso, a SE-CMBJL possui para-raios de distribuição com desligamento automático – 15 kV – 10 kA.

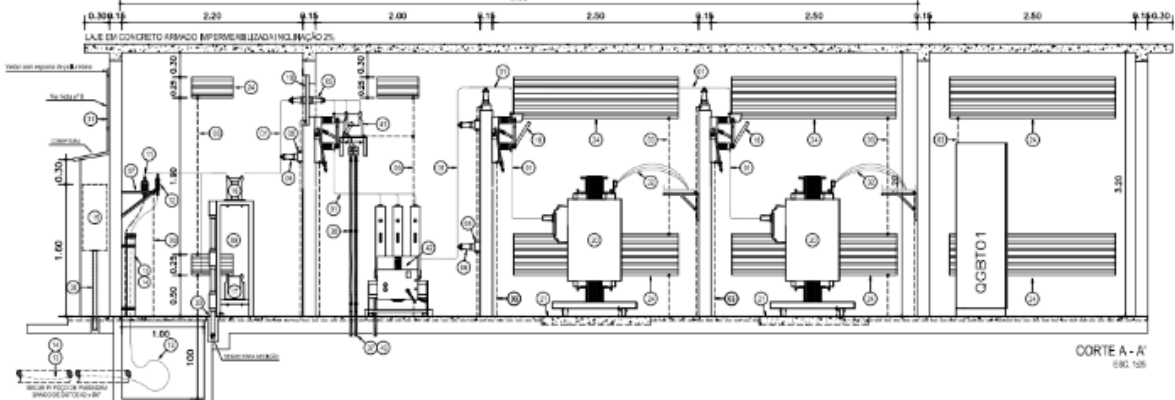
Figura 22 – Planta baixa da Subestação abrigada do CMBJL



Fonte: Adaptado de COMPAC (2019).

A Figura 23 exibe o corte lateral da SE-CMBJL ou corte A-A:

Figura 23 – Planta baixa da Subestação abrigada do CMBJL(Corte lateral)

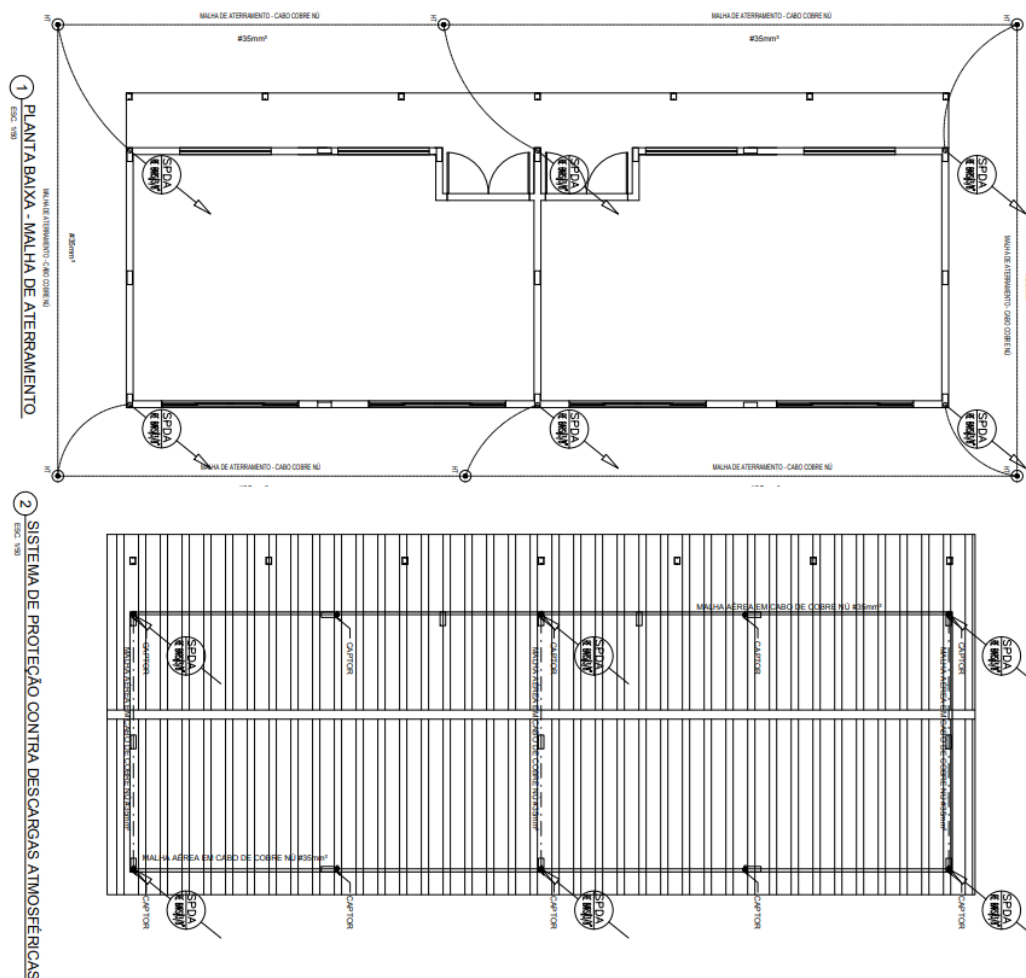


Fonte: Adaptado de COMPAC (2019).

5. O MÓDULO DIDÁTICO DO CMBJL

O módulo didático do CMBJL é formado por duas salas de aula (uma sala foi adaptada para o Laboratório de Energias Renováveis) que podem ser ministradas aulas dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica. Nele está instalado um SPDA do Centro, com seis hastes de aterramento. As hastes são do tipo “Coppewerd” Ø5/8” x 3,0 m (alta camada) interligadas a 60 cm abaixo do solo com cabo de cobre nu 35 mm² através de soldas exotérmicas. Este sistema ainda conta com 10 captores do tipo *Faraday*² e malha de proteção aérea em cabo de cobre nu também de 35 mm². Observa-se na Figura 25 a planta baixa do módulo, além do SPDA.

Figura 25 – Planta baixa do módulo didático com sistema SPDA

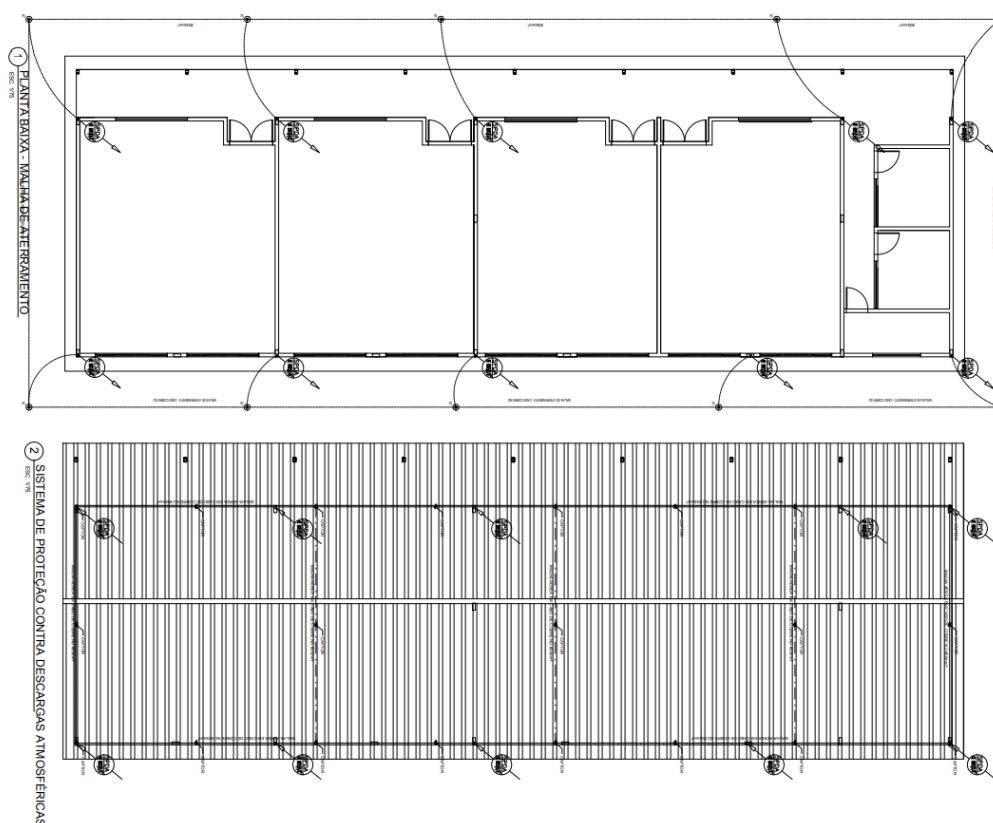


Fonte: Adaptado de BIANCA (2018).

6. O MÓDULO LABORATORIAL DO CMBJL

O módulo laboratorial do CMBJL é composto por quatro salas laboratoriais para serem ministradas as aulas práticas do curso de Engenharia Elétrica, além disso, este módulo possui dois banheiros em anexo. Nele também está instalado um SPDA do Centro com dez hastes de aterramento do tipo “*Coppewerd*³” Ø5/8” x 3,0 m (alta camada) interligadas numa malha de aterramento a 60 cm abaixo do solo com cabo de cobre nu de 35 mm² através de soldas exotérmicas. Este sistema ainda conta com 21 captores do tipo *Faraday*⁴ e malha de proteção aérea em cabo de cobre nu também de 35 mm². Observa-se Figura 26 a planta baixa do módulo, além do SPDA.

Figura 26 – Planta baixa do módulo laboratorial e sistema SPDA



Fonte: Adaptado de BIANCA (2018).

³ Haste cuja camada de cobre é obtida através do processo de eletrodisposição anódica, e possui uma extremidade pontiaguda.

⁴ Sistema de captores formado por condutores horizontais interligados em forma de malha, formando uma rede modular de condutores envolvendo todos os lados do volume a proteger (cobertura e fachadas), criando assim uma espécie de "gaiola".

7. ANÁLISE DE RISCO

Neste Capítulo serão realizadas as análises de riscos para as estruturas do módulo didático e módulo laboratorial do CMBJL. A ferramenta utilizada para essas análises é a Planilha TUPAN PLUS 2020 desenvolvida pelo Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (USP), que tem como base as quatro partes da NBR5419: 2015. Nessa análise inicial, será levado em conta a não existência de SPDA no Centro.

7.1. ZONAS DE ESTUDO (Z_S)

Conforme o item 6.7 da ABNT NBR 5419-2: 2015, serão consideradas duas zonas para cada estrutura, uma zona interna e outra externa. Como o interesse é a proteção das pessoas e equipamentos internos a cada módulo, na análise de risco, as respectivas zonas internas serão tratadas com uma maior atenção.

7.2. DADOS TÉCNICOS

Para cada módulo, na aba Dados Técnicos da Planilha, serão avaliados os seguintes dados: dados da estrutura, influências ambientais; risco de incêndio ou explosão, medidas de proteção ou mitigação do risco, atributos da avaliação, atributos da linha de energia conectada e atributos da linha de telecomunicação conectada.

7.2.1. Dados da Estrutura

Em relação ao módulo didático, conforme projeto estrutural, as seguintes medidas foram consideradas: 19 m de comprimento, 7,9 m de largura e 3,28 m de altura. Assim, a área de exposição equivalente obtido pela Planilha (calculado conforme 2.10.3.1) é: 983,678 m², aproximadamente. Já em relação ao módulo laboratorial, as seguintes medidas foram consideradas: 37,61 m de comprimento, 13,2m de largura e 3,8 m de altura. Assim, a área de exposição equivalente é: 2063,201 m².

7.2.2. Influências Ambientais

Conforme já mencionado, o CMBJL localiza-se em Bom Jesus da Lapa – Ba e, de acordo a Planilha TUPAN PLUS 2020, a frequência de raios para essa localização é de 4,063/km²/ano. Em relação à localização da estrutura, de acordo o item A.2.3 do Anexo A da NBR 5419-2: 2015, tanto a estrutura do módulo didático quanto a estrutura do

módulo laboratorial, ambas são estruturas cercadas por objetos de mesma altura ou mais baixos.

7.2.3. Risco de Incêndio ou Explosão

Segundo a INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 14/2017 do CORPO DE BOMBEIROS MILITAR do ESTADO DA BAHIA, para locais de educação superior – graduação, a carga de incêndio é de 300 MJ/m². Ao colocar esse valor na Planilha TUPAN PLUS 2020, o Campo “Risco de incêndio ou explosão” é ajustado para Incêndio baixo ou explosão (zonas 2, 22), conforme a Tabela C.5 da ABNT NBR 5419-2: 2015 (Tabela 15).

7.2.4. Medidas de Proteção ou Mitigação do Risco

7.2.4.1. Proteção por SPDA

Como está sendo considerado nessa análise inicial que tanto o módulo didático quanto o módulo laboratorial não possuem SPDA, o Campo “Proteção por SPDA” da Planilha TUPAN PLUS 2020 será preenchido com a opção “sem SPDA”, para ambas as estruturas. Essa escolha é em conformidade com a Tabela B.2 da ABNT NBR 5419-2: 2015.

7.2.4.2. Meios para reduzir as consequências de incêndios

O Campo “Meios para reduzir as consequências de incêndio” da Planilha TUPAN PLUS 2020 será preenchido também com a opção “Sem proteção”, para ambas as estruturas. Essa escolha é em conformidade com a Tabela C.4 da ABNT NBR 5419-2: 2015 (Tabela 14).

7.2.5. Atributos da Linha de Energia Conectada

7.2.5.1. Comprimento da linha conectada

A subestação abrigada do CMBJL será considerada uma estrutura adjacente conectada na “extremidade de uma linha” em relação aos módulos didático e laboratorial. Essa consideração foi feita porque é a partir da subestação abrigada que parte a linha de energia em baixa tensão que energiza todo o Campus e, conseqüentemente, os módulos. Além disso, será considerado também que sua extensão é de aproximadamente 60 m em relação ao módulo didático e 70 m em relação ao módulo laboratorial.

Essa informação é bastante importante, pois, a partir dela, a Planilha TUPAN PLUS 2020 irá calcular as áreas de exposição equivalente das descargas atmosféricas que atingem diretamente a linha (A_L) e também as que atingem a proximidade da linha (A_L), dadas em metro quadrado.

7.2.5.2. Área de exposição adjacente

Tratando da área da estrutura adjacente, conforme projeto estrutural, as seguintes medidas foram consideradas: 13,23m de comprimento, 5,5m de largura e 3,35m de altura. Assim, segundo a Planilha TUPAN PLUS 2020, a área de exposição equivalente é: 766,547 m², aproximadamente.

7.2.5.3. Fator ambiental (C_e)

Conforme a Tabela A.4 do Anexo A da NBR 5419-2: 2015, o parâmetro fator ambiental será selecionado como “urbano” para as estruturas sob estudo. Este parâmetro trata das linhas e suas “blindagens” referentes às edificações próximas.

7.2.5.4. Fator de instalação dos condutores (C_i)

Em relação ao Campo “Fator de instalação dos condutores”, será selecionada a opção “Enterrado”, já que foi considerado para essa primeira análise a inexistência de SPDA tanto no módulo didático quanto no módulo laboratorial. Essa escolha é baseada na Tabela A.2 do Anexo A da NBR 5419-2: 2015.

7.2.5.5. Condição da blindagem, aterramento e isolamento

Tratando do Campo “Condição da blindagem, aterramento e isolamento” da Planilha TUPAN PLUS 2020, foi selecionada a opção “Qualquer tipo de linha com interfaces isolantes” para ambos os módulos. Essa escolha é de acordo a Tabela B.4 do Anexo B da NBR 5419-2: 2015.

7.2.5.6. Tipo de linha (C_l)

Referindo ao Campo “Tipo de linha”, foi escolhida a opção “Linha BT” para o módulo didático bem como o módulo laboratorial. Segundo o manual da Planilha TUPAN PLUS 2020, quando a estrutura é alimentada por uma linha de Alta Tensão e a Cabine Primária ficar dentro ou colada à estrutura sob análise, a opção “Linha AT (Trafo

AT/BT)” deve ser escolhida. Como não é o caso para os módulos didático e laboratorial do CMBJL, a primeira opção foi a escolhida.

7.2.5.7. Tensão suportável de impulso do sistema

No Campo “Tensão sup. impulso do sistema”, para ambos os módulos, foi selecionada a opção “2,5 kV”. Este dado está relacionado à capacidade de suportabilidade específica de isolamento dos equipamentos contra sobretensões transitórias e tem efeito nos parâmetros das Tabelas B.8 e B.9 do Anexo B da NBR 5419-2: 2015.

7.2.5.8. Resistência da blindagem do cabo (R_S)

De acordo a ABNT NBR 5419-2 (2015), em áreas urbanas/suburbanas, geralmente uma linha de energia em baixa tensão faz o uso de cabos enterrados não blindados. Logo, esse Campo da Planilha TUPAN PLUS 2020 não será utilizado na análise de risco de ambos os módulos.

7.2.5.9. DPS de acordo com o nível de proteção

Na análise do Campo “Proteção por SPDA”, também será considerado nessa avaliação inicial, a inexistência de DPS nas instalações do módulo didático bem como do módulo laboratorial. A escolha nesse Campo é alinhada com as Tabelas B.3 e B.7 da NBR 5419-2: 2015.

7.2.5.10. Fiação interna (K_{S3})

Para esse Campo, conforme a Tabela B.5 do Anexo B da NBR 5419-2: 2015, foi escolhida a opção “Não blindado – sem precaução para evitar laços.” para ambos os módulos.

7.3. OUTROS DADOS

Agora, para cada módulo, na aba “Outros Dados” da Planilha, serão avaliados os seguintes dados: medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem, fatores de variação das perdas e dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco).

7.3.1. Medidas de Proteção Contra Tensão de Passo e Toque e Blindagem

7.3.1.1. Contra tensão de passo e toque na estrutura

Neste Campo, tomando como base a Tabela B.1 do Anexo B da NBR 5419-2: 2015, será escolhida a opção “nenhuma medida de proteção” na análise de risco de ambos os módulos, pois, como já informado, nesta análise inicial é considerada a não existência de SPDA no Campus.

7.3.1.2. Contra tensão de passo e toque na linha conectada

Já para esse Campo, tendo como base a Tabela B.6 do Anexo B da NBR 5419-2: 2015, também será escolhida a opção “nenhuma medida de proteção” na análise de risco de ambos os módulos.

7.3.1.3. Blindagem metálica contínua, sem blindagem metálica e largura da blindagem ou distâncias das descidas

Esses campos da Planilha tratam das blindagens (espaciais) de uma estrutura ou de uma determinada Zona de Estudo da estrutura. Como os módulos laboratorial e didático só possuem cobertura metálica, a opção escolhida na Planilha será “sem blindagem metálica contínua”. Assim, segundo o item B.5 do Anexo B da ABNT NBR 5419-2: 2015, os valores da largura da blindagem, W_{m1} e W_{m2} serão 8,333, pois, os valores de K_{S1} e K_{S2} são limitados a 1.

7.3.2. Fatores de Variação das Perdas

7.3.2.1. Fator de redução pelo tipo de solo ou piso

Em relação ao Campo “Fatores de variação das perdas”, para a janela “Fator de redução pelo tipo de solo ou piso”, em conformidade à Tabela C.3 do Anexo C da NBR 5419-2: 2015, será escolhida a opção “Mármore, cerâmico” para ambos os módulos, didático e laboratorial.

7.3.2.2. Fator de acréscimo devido a um perigo especial

Já para a janela “Fator de acréscimo devido a um perigo especial”, será escolhida a opção “Baixo nível de pânico”, pois, ambos os módulos são estruturas limitadas a dois

andares e com um número de pessoas não superior a 100. Essa escolha é baseada na Tabela C.6 do Anexo C da NBR 5419-2: 2015.

7.3.2.3. Risco admissível

Tratando agora da janela “Risco admissível”, nessa análise inicial, será escolhida a opção “Valores de norma”, pois, segundo a Planilha TUPAN PLUS 2020, não é recomendável utilizar valores maiores que os de norma. Esses valores são os riscos toleráveis pela ABNT NBR 5419: 2015.

7.3.3. Dimensionamento das Perdas Potenciais (Montante do Risco)

Os Campos que tratam do “Dimensionamento das perdas potenciais (montante do risco)” são referentes a perda de vida humana, conforme o item C.3 do Anexo C da NBR 5419-2: 2015 (2.10.4.1.). Será considerado o número total de 350 pessoas no Campus e 74 pessoas para a análise de risco do módulo de didático e 76 pessoas para o módulo laboratorial, em conformidade com as plantas baixas de cada módulo. Já o tempo de exposição em cada zona (em horas por ano) será de 1894 horas, considerando 9,33 horas por dia e 203 dias letivos do Campus, em conformidade com o Calendário Acadêmico 2025 da UFOB.

7.3.4. Fatores de Avaliação do Risco Ambiental Para as Pessoas na Zona

7.3.4.1. Risco de falhas de sistemas internos

De acordo a Tabela C.2 (Tabela 12) do Anexo C da NBR 5419-2: 2015, o Campo “Risco de falha de sistemas internos” da Planilha apresenta os valores dos parâmetros relacionados a perda de vida. Neste Campo, para ambos os módulos, será escolhida a opção “Locais onde falhas de sistemas internos não causam perdas de vida”.

7.3.4.2. Tipo da estrutura

O Campo “Tipo da estrutura” também tem relação com as Tabelas C.1 (Tabela 11) e C.2 (Tabela 12) do Anexo C da NBR 5419-2: 2015. Para esse Campo, será feita a escolha “Hospital, hotel, escola, edifício cívico” na análise de risco tanto para o módulo didático como para o módulo laboratorial.

7.3.5. Valor Econômico (Perda L4)

O Campo “Valor econômico (perda L4)” trata dos parâmetros para os cálculos do Risco de perda econômica segundo o item C.6 da NBR 5419-2: 2015. Por norma, o cálculo do risco R4 não é obrigatório, mas é importante para a avaliação dos custos das perdas e para outros estudos, conforme o Anexo D da NBR 5419-2: 2015. Para a janela “Valor dos animais na zona”, para ambos os módulos, será preenchida com o valor 0. Em relação a janela “Valor da edificação na zona”, o valor de 30000 será preenchido em ambos os módulos, e para as janelas “Valor do conteúdo na zona” e “Valor dos sistemas internos na zona”, os valores preenchidos serão, respectivamente, 100000 e 5000 nos dois módulos.

7.3.6. Fatores de Avaliação do Risco Ambiental Para as Pessoas na Zona

7.3.6.1. Risco de falha de sistemas internos

A janela “Risco de falha de sistemas internos” está relacionada com as Tabelas C.11 e C.12 do Anexo C da NBR 5419-2: 2015. Em relação a essa janela, em ambos os módulos, será escolhida a opção “Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público”.

7.3.6.2. Tipo de estrutura

Já para a janela “Tipo de estrutura” do Campo “Fatores de avaliação do risco ambiental para as pessoas na zona”, será feita a escolha da opção “Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial” para o módulo didático, bem como para o módulo laboratorial. Essa janela também tem relação com as Tabelas C.11 e C.12 do Anexo C da NBR 5419-2: 2015.

7.4. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE RISCOS

Antes de exibir os resultados na Planilha, foram modificados alguns parâmetros para as zonas externas aos módulos didático e laboratorial. A zona externa, que é comum aos dois módulos, teve o Campo “Vidas humanas (perda L1)” alterado para 276 pessoas (em relação ao módulo didático) e 272 pessoas (em relação ao módulo laboratorial), num total de 350 pessoas. Além disso, o Campo “Fator de redução pelo tipo de solo ou piso”

foi alterado para “Agrícola, concreto” e o Campo “Fator de acréscimo devido a um perigo especial” teve a alteração para “Médio nível de pânico”.

7.4.1. Resultados da Análise de Risco Para o Módulo Didático (Sem SPDA)

O valor acima do nível tolerável na análise de risco do módulo didático está marcado na Figura 27, nota-se na figura que apenas o risco R4 (perda de valor econômico) está marcado. O risco R1 (perda de vida humana) não está marcado porque seu valor foi reduzido significativamente com as informações fornecidas no preenchimento da Planilha, e pelo fato da estrutura não ser uma estrutura com risco de explosão ou hospital com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outra estrutura quando a falha dos sistemas internos pode colocar imediatamente em perigo a vida humana.

Já para o risco R2 (perda de serviço ao público), seu valor é muito baixo e não está marcado na figura porque a estrutura do módulo didático não se trata de uma estrutura que fornece serviços ao público, tais como estações de tratamento de água, subestações de energia, empresas de telefonia ou emissoras de televisão.

O valor para o risco R3 (perda de herança) também não está marcado, porque, por não tratar de uma edificação com memória cultural, não haverá risco de perdas de patrimônio cultural.

Figura 27 – Resultados da análise de risco do módulo didático

Riscos	Valores toleráveis	Os valores abaixo devem ser multiplicados por 10 ⁻⁵		Total
		Zona Z1	Zona Z2	
R1-Perda de vida humana	1	<0,1	<0,1	<0,1
R2-Perda de serviço ao	100	0,4975114199	1,8650754428	2,36258696
R3-Perda de herança	10	<0,1	<0,1	<0,1
R4-Perda de valor	<0,1	<0,1	0,1817773422	0,23406833

Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$ 3

Última zona carregada na

Resultados na Memória de Trabalho (Volátil)

	R _A	R _U	R _B	R _V	R _C	R _W	R _Z	R _M	R ₁
Z2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

MODIFICADO

D1 - Ferimento	D2 - Danos físicos	D3 - Falhas de sistemas
Descarga na estrutura	Descarga na estrutura	Descarga na estrutura
Descarga na linha	Descarga na linha	Descarga na linha
		Descarga perto da linha
		Descarga perto da estrutura

Fonte: Planilha TUPAN PLUS 2020.

7.4.2. Resultados da Análise de Risco Para o Módulo Laboratorial (Sem SPDA)

Em relação ao resultado da análise de risco no módulo laboratorial, como é possível observar na Figura 28, foi obtido um resultado parecido com a análise feita no módulo didático. O resultado foi semelhante porque, conforme mencionado anteriormente, os Campos da Planilha foram preenchidos praticamente da mesma forma em ambos os módulos. A diferença foi em relação a quantidade de pessoas em cada zona e os valores dos equipamentos internos às estruturas, além das próprias medidas estruturais das edificações.

Figura 28 – Resultados da análise de risco do módulo laboratorial

The screenshot shows the 'Resultado' tab in the TUPAN PLUS 2020 software. It displays the following information:

- Atributos da avaliação:** Projeto: MÓDULO LABORATORIAL, Avaliador: RODRIGO FERREIRA.
- Riscos:** A table with columns for 'Valores toleráveis', 'Zona Z1', 'Zona Z2', and 'Total'. A red note states: 'Os valores abaixo devem ser multiplicados por 10⁵'.

Riscos	Valores toleráveis	Zona Z1	Zona Z2	Total
R1-Perda de vida humana	1	<0,1	<0,1	<0,1
R2-Perda de serviço ao	100	42,574959376	11,806382237	54,3813416
R3-Perda de herança	10	<0,1	<0,1	<0,1
R4-Perda de valor	<0,1	13,695570538	0,2925708162	13,9881413
- Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$:** 175.
- Resultados na Memória de Trabalho (Volátil):**
 - Última zona carregada na: **Z2**
 - Resultados: $R_A < 0,1$, $R_U < 0,1$, $R_B < 0,1$, $R_V < 0,1$, $R_C < 0,1$, $R_W < 0,1$, $R_Z < 0,1$, $R_M < 0,1$, $R_1 < 0,1$.
 - Modificações:
 - D1 - Ferimento:** Descarga na estrutura, Descarga na linha.
 - D2 - Danos físicos:** Descarga na estrutura, Descarga na linha.
 - D3 - Falhas de sistemas:** Descarga na estrutura, Descarga na linha, Descarga perto da linha, Descarga perto da estrutura.

Fonte: Planilha TUPAN PLUS 2020.

7.4.3. Resultados da Análise de Risco: Buscando Uma Solução (Módulo Didático)

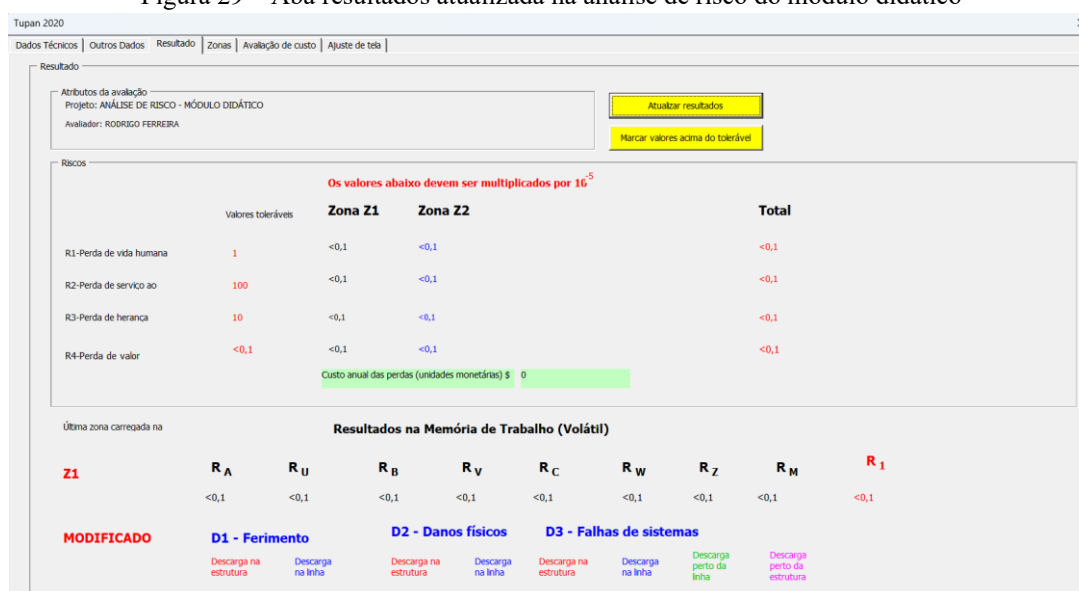
Após a análise de risco do módulo didático, considerando a não existência de SPDA nesse módulo, observou-se que a Planilha TUPAN PLUS 2020 indicou que apenas o risco R4 (perda de valor econômico) estava fora dos valores toleráveis, como discutido anteriormente. Desta forma, a Planilha foi preenchida novamente, agora levando em conta a existência de SPDA nesse módulo, além de outras considerações baseadas nas características reais da estrutura.

Assim, foram realizadas as seguintes modificações na Planilha, a saber: na aba “Dados Técnicos”, o Campo “Medidas de proteção ou mitigação do risco” teve a janela

“Proteção por SPDA” alterada para “Classe do SPDA IV” e a janela “Meios para reduzir as consequências de incêndios” alterada para “Extintores manuais, alarmes manuais, hidrantes, rotas de fuga protegidas ou compartimentos à prova de fogo”. Além disso, na aba “Atributos da linha de energia conectada”, a janela “DPS de acordo com o nível de proteção” foi modificada para “III-IV”.

Em continuidade nas modificações na Planilha, na aba “Outros Dados”, o Campo “Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem” teve a janela “Contra tensão de passo e toque na estrutura” modificada para “Restrições físicas ou estrutura como sist. descida” e a janela “Contra tensão de passo e toque na linha conectada” alterada para “Restrições físicas”. A partir dessas modificações, a aba “Resultados” foi atualizada conforme a Figura 29.

Figura 29 – Aba resultados atualizada na análise de risco do módulo didático



Fonte: Planilha TUPAN PLUS 2020.

Observando a Figura 29, após o novo cálculo realizado pela Planilha, nota-se que nenhum valor de risco está acima do respectivo valor tolerável.

7.4.4. Resultados da Análise de Risco: Buscando Uma Solução (Módulo Laboratorial)

Assim como no módulo didático, após a análise de risco do módulo laboratorial, considerando a não existência de SPDA nesse módulo, observou-se também que a Planilha TUPAN PLUS 2020 indicou que apenas o risco R4 (perda de valor econômico) estava fora dos valores toleráveis. Logo, a Planilha foi preenchida novamente, agora

levando em conta a existência de SPDA nesse módulo, além de outras considerações também baseadas nas características reais da estrutura.

Assim como no módulo didático, foram realizadas as seguintes modificações na Planilha para o módulo laboratorial: na aba “Dados Técnicos”, o Campo “Medidas de proteção ou mitigação do risco” teve a janela “Proteção por SPDA” também alterada para “Classe do SPDA IV” e a janela “Meios para reduzir as consequências de incêndios” alterada também para “Extintores manuais, alarmes manuais, hidrantes, rotas de fuga protegidas ou compartimentos à prova de fogo”. Além disso, na aba “Atributos da linha de energia conectada”, a janela “DPS de acordo com o nível de proteção” foi modificada para “III-IV”.

Dando prosseguimento às modificações na Planilha, na aba “Outros Dados”, o Campo “Medidas de proteção contra tensão de passo e toque e blindagem” teve a janela “Contra tensão de passo e toque na estrutura” também modificada para “Restrições físicas ou estrutura como sist. descida” e a janela “Contra tensão de passo e toque na linha conectada” alterada também para “Restrições físicas”. Partindo dessas modificações, a aba “Resultados” foi atualizada conforme a Figura 30.

Figura 30 – Aba resultados atualizada na análise de risco do módulo laboratorial

The screenshot shows the 'Resultado' tab in the TUPAN 2020 software. It displays the following information:

- Atributos da avaliação:** Projeto: MÓDULO LABORATORIAL, Avaliador: RODRIGO FERREIRA.
- Riscos:** A table with columns for 'Valores toleráveis', 'Zona Z1', 'Zona Z2', and 'Total'. The values are all <math><0,1</math>, except for R2-Perda de serviço ao which is 100 in the 'Total' column. A note states: 'Os valores abaixo devem ser multiplicados por 10^5 '. A green bar indicates 'Custo anual das perdas (unidades monetárias) \$ 0'.
- Resultados na Memória de Trabalho (Volátil):** A table with columns R_A , R_U , R_B , R_V , R_C , R_W , R_Z , R_M , and R_1 . All values are <math><0,1</math>. A red 'MODIFICADO' label is present.
- MODIFICADO:**
 - D1 - Ferimento:** Descarga na estrutura, Descarga na linha.
 - D2 - Danos físicos:** Descarga na estrutura, Descarga na linha.
 - D3 - Falhas de sistemas:** Descarga na estrutura, Descarga na linha, Descarga perto da linha, Descarga perto da estrutura.

Fonte: Planilha TUPAN PLUS 2020.

Analisando a Figura 30, é possível constatar que os resultados da busca por uma solução na análise de risco do módulo laboratorial são idênticos ao módulo didático, isso já era esperado, pois ambos os módulos possuem características semelhantes, projetos estruturais e finalidades de uso também bem parecidas.

8. INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE CADA SPDA DO CMBJL

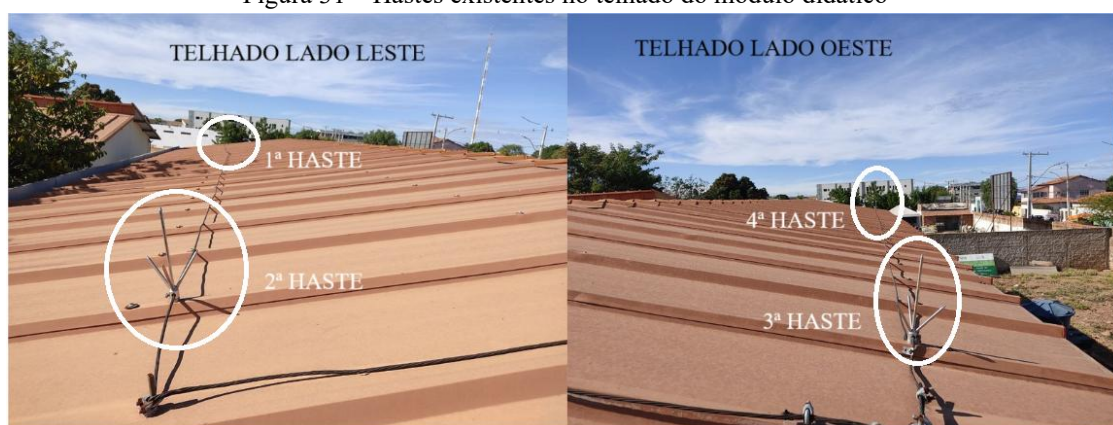
Neste Capítulo serão apresentadas as inspeções de cada SPDA do CMBJL visando auxiliar e orientar possíveis manutenções, além de melhorias nos respectivos sistemas.

Segundo o item 7.3.1 da NBR 5419-3: 2015, uma inspeção visual deve ser realizada a cada semestre num SPDA apontando eventuais pontos de deterioração. Além disso, é necessário inspeção periódica de tal sistema realizada por um profissional habilitado e capacitado a exercer esta atividade, com emissão de documentação pertinente, em um intervalo de 3 anos para estruturas com características e finalidades semelhantes aos módulos didático e laboratorial.

8.1. SUBSISTEMAS DE CAPTAÇÃO DOS MÓDULOS DIDÁTICO E LABORATORIAL

Conforme a documentação do projeto do SPDA do módulo didático, na qual a planta baixa é exibida na Figura 25, deveriam existir 10 captadores tipo *Faraday* no telhado desse módulo interligados por cabo de cobre nu de #35 mm². Porém, na inspeção realizada, foi constatada a existência de apenas 4 hastes de captação que estão interligadas conforme o projeto, Figura 31:

Figura 31 – Hastes existentes no telhado do módulo didático



Fonte: Autor.

De acordo o projeto, os captadores possuem 30 cm de altura. Então, utilizando o Método de *Franklin* ou Método do Ângulo de Proteção (2.9.3.1), já que o módulo didático é uma estrutura com área horizontal e altura reduzida, e levando em conta um SPDA tipo IV (independe da resistividade do solo), a área protegida por cada captor existente no módulo foi calculada de acordo os seguintes dados: $\alpha = 79^\circ$ para SPDA Classe IV com

altura do captor menor que 2 m, conforme Figura 14 e Figura 15 e $h_1 = 0,3$ m de acordo a altura do captor.

De posse dos dados anteriores e fazendo o uso da fórmula da tangente, o raio do cone de proteção no método de *Franklin* é, aproximadamente, 1,54 m. Assim, a área aproximada de proteção de cada captor é 7,45 m². Logo, apenas 4 captos posicionados nas proximidades das bordas do telhado do módulo didático não conseguirão proteger todo o telhado caso uma descarga atmosférica venha a atingir a estrutura, pois sua área total aproximada é de 150 m², são 19 m de comprimento por 7,9 m de largura, como já mencionado.

No entanto, conforme o item 5.2.5 da NBR 5419-3: 2015 e a Tabela 3 da mesma Norma, o próprio telhado do módulo didático servirá como um captor natural caso uma descarga atmosférica venha a atingir esse módulo, já que sua cobertura é constituída de telha galvalume com isolamento acústico com espessura mínima de 0,5 mm (como exigido em Norma) e possui continuidade elétrica, segundo análise visual, de forma duradoura entre várias partes da estrutura, como observado na Figura 31.

Em relação ao módulo laboratorial, segundo apresentado na documentação do seu projeto de SPDA, com a planta baixa mostrada na Figura 26, deveriam existir 21 captos do tipo *Faraday* no telhado desse módulo interligados por cabo de cobre nu de #35 mm². Porém, na inspeção feita, foi constatada a existência de apenas 18 hastes de captação interligadas conforme o projeto, observa-se na Figura 32 alguns desses captos:

Figura 32 – Algumas hastes existentes no telhado do módulo laboratorial



Fonte: Autor.

Em conformidade ao projeto, os captores do módulo laboratorial também possuem 30 cm de altura. Então, utilizando o Método de *Franklin* ou Método do Ângulo de Proteção (2.9.3.1), pois o módulo laboratorial também é uma estrutura com área horizontal e altura reduzida, e levando em conta um SPDA tipo IV (independe da resistividade do solo), a área protegida por cada captor existente no módulo foi calculada de acordo os seguintes dados: $\alpha = 79^\circ$ para SPDA Classe IV com altura do captor menor que 2 m, conforme Figura 14 e Figura 15 e $h_1 = 0,3$ m em conformidade à altura do captor.

Com os dados acima e também usando a fórmula da tangente, o raio do cone de proteção no método de *Franklin* é, aproximadamente, 1,54 m. Assim, da mesma forma ao módulo didático, a área aproximada de proteção de cada captor é 7,45 m². Logo, apenas 18 captores posicionados nas proximidades das bordas e na cumeeira do telhado do módulo laboratorial também não conseguirão proteger todo o telhado caso uma descarga atmosférica venha a atingir a estrutura, já que sua área aproximada total é de 496 m², são 37,61 m de comprimento por 13,20 m de largura, como já informado.

Contudo, segundo o item 5.2.5 da NBR 5419-3: 2015 e a Tabela 3 da mesma Norma, o próprio telhado do módulo laboratorial também servirá como um captor natural caso uma descarga atmosférica venha a atingir a cobertura desse módulo porque sua cobertura também é constituída de telha galvalume com isolamento acústico de espessura mínima de 0,5 mm (exigido na Norma) e também possui continuidade elétrica, conforme análise visual, de forma duradoura entre várias partes da estrutura, como observado na Figura 32 e Figura 33.

Figura 33 – Presilha para cabo de cobre usada na fixação da malha de captação do módulo laboratorial



Fonte: Autor.

8.2. SUBSISTEMAS DE DESCIDA DOS MÓDULOS DIDÁTICO E LABORATORIAL

Conforme as documentações dos SPDAs dos módulos didático e laboratorial, os próprios vergalhões dos pilares poderiam ser utilizados como os subsistemas de descida. Mas, para isso, como relatado nas documentações dos projetos, em cada descida deverá ser instalada uma haste de aterramento tipo “*COPPERWELD*” 5/8” x 3 m (alta camada) e interligadas a 50 cm abaixo do solo com cabo de cobre nu #35 mm² através de soldas exotérmicas.

Na inspeção realizada no módulo didático, não foi observado a existência de nenhum condutor de descida externo, logo, subte-se que as próprias ferragens dos pilares da estrutura são utilizadas como as descidas do SPDA. Como é possível observar na Figura 34, a malha de captação aérea é conectada aos vergalhões de alguns pilares através de barras re-bars 3/8” de forma externa ao telhado, foram observados 4 pontos de conexão.

Figura 34 – Uma das conexões entre a captação e o subsistema de descida do módulo didático



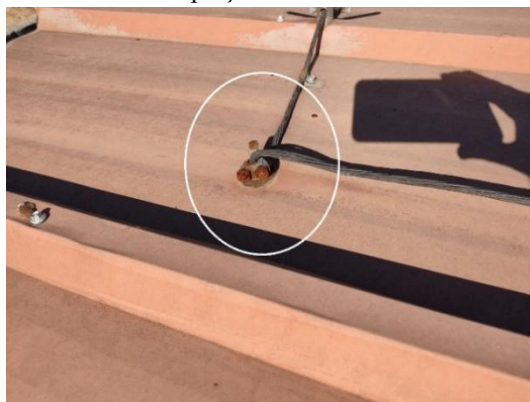
Fonte: Autor.

Segundo o item 5.3 NBR 5419-3:2015, é interessante o uso de diversos condutores de descida porque reduz a probabilidade de danos e centelhamentos perigosos devido à corrente da descarga atmosférica fluindo pelo SPDA.

Tratando do módulo laboratorial, foi observado também que, para o subsistema de descida, foram usados os próprios vergalhões de alguns pilares, sendo que não foram encontrados condutores externos de descida na estrutura. Observa-se na Figura 35, assim como no módulo didático, que a malha de captação aérea é conectada ao vergalhão do

respectivo pilar através de barras re-bars 3/8” de forma externa ao telhado, também foram observados 4 pontos de conexões.

Figura 35 – Uma das conexões entre a captação e o subsistema de descida do módulo laboratorial



Fonte: Autor.

8.3. SUBSISTEMAS DE ATERRAMENTO DOS MÓDULOS DIDÁTICO E LABORATORIAL

Em relação ao subsistema de aterramento, tanto do módulo didático quanto do módulo laboratorial, como já apresentado nos Capítulos 5 e 6, constam nas documentações dos projetos as seguintes observações: todos os cabos da malha de aterramento serão de nu de #35 mm² e deverão ficar a uma profundidade mínima de 0,6 m do piso acabado. Para cada descida deverá ser instalada uma haste de aterramento tipo “COPPERWELD” 5/8” x 3 m (alta camada), interligadas a 50 cm abaixo do solo através do cabo da malha usando soldas exotérmicas. Além disso, deverá ser utilizada uma caixa de ref.: tel-541 com conector de medição ref.: tel-560 para cada descida onde será feita a desconexão entre descida e aterramento em futuras vistorias e todas as tubulações metálicas que cruzarem com o anel de aterramento deverão ser interligadas a esse no ponto de cruzamento. Por fim, todas as conexões do aterramento deverão ser executadas com solda exotérmica.

De acordo a Figura 25, a malha de aterramento do SPDA do módulo didático é composta por 6 hastes com as características descritas no parágrafo anterior. Porém, na inspeção realizada, foi possível constatar a existência de apenas 5 hastes, pois a sexta haste encontra-se com a tampa de inspeção soterrada. Apesar de não ser encontrada nenhuma caixa de inspeção do tipo suspensa, pela quantidade de vergalhões dos pilares conectados ao subsistema de captação e este ao subsistema de descida, é esperado que

somente 4 hastes estejam conectadas diretamente as descidas. Observa-se na Figura 36 uma das 5 hastes de aterramento do módulo didático.

Figura 36 – Uma das hastes de aterramento do módulo didático



Fonte: Autor.

Em relação ao cabo da malha de aterramento do módulo didático, nas conexões com as hastes de aterramento, foi possível constatar a existência de cabo de cobre nu # 35 mm², em conformidade à documentação do projeto. Essa seção transversal está em concordância à Tabela 7 da NBR 5419-3:2015.

Tratando agora da malha de aterramento do módulo laboratorial, foi observado que sua configuração é bem parecida com a da malha do módulo didático. Como foi observado que apenas 4 vergalhões de 4 pilares estavam conectados à malha de captação, também é esperado que apenas 4 hastes de aterramento estejam conectadas diretamente a uma respectiva descida, como é possível deduzir a partir da Figura 26. Na inspeção realizada, foi observado a existência de 12 caixas no solo para inspeção, consequentemente, são 12 hastes de aterramento. Espera-se também que estas hastes estejam interligadas por um cabo de cobre nu # 35 mm², de acordo solicitado em projeto e em conformidade com a Tabela 7 da NBR 5419-3:2015. É mostrado na Figura 37 uma das 12 hastes de aterramento do módulo laboratorial.

Figura 37 – Uma das hastes de aterramento do módulo laboratorial



Fonte: Autor.

8.4. MANUTENÇÃO E MELHORIA DE CADA SPDA DO CMBJL

A partir das inspeções realizadas nos SPDAs dos módulos didático e laboratorial, foi observado a necessidade de algumas manutenções e melhorias. Como é observado na Figura 34 e Figura 35, é necessário trocar, em ambos os módulos, os clips galvanizados que conectam as barras re-bars de 3/8” aos vergalhões dos pilares e também os clips que conectam as derivações no cabo da malha de captação, pois foi notado a presença de corrosão. Seria interessante o uso de conectores de pressão bimetálicos porque esses conectores impedem o contato direto do aço com o cobre, evitando assim o processo de corrosão dessas peças, o que pode levar a uma falha de conexão entre os elementos de todo o sistema, caso essas conexões sejam desfeitas, e à criação de pontos de alta impedância.

Em relação aos captadores existentes no telhado de cada módulo, seria interessante instalar e completar os captadores de ambas as malhas de captação conforme a documentação de cada projeto. Assim, mais pontos de captação estarão disponíveis sobre os telhados e, caso uma descarga atmosférica atinja uma dessas estruturas, a sobrecorrente elétrica será dissipada mais facilmente nos sistemas, o que diminuirá a probabilidade de danos à estrutura, às pessoas e aos equipamentos. No módulo laboratorial, foi observado que alguns captadores precisam ser posicionais e fixados corretamente ao telhado.

Tratando dos subsistemas de aterramento, conforme a Figura 36 e Figura 37, foram observadas corrosões em alguns pontos de conexões entre as hastes e o cabo de

cobre, mas a quantidade de hastes está de acordo cada projeto e apenas uma haste da malha do módulo didático não foi encontrada, como já relatado. Em relação à continuidade elétrica entre os subsistemas, conforme o item 7.3.2 da NBR 5419-3: 2015, é preferível a utilização de equipamentos que são construídos em esquemas a quatro fios (dois para injeção de corrente e dois para medir a diferença de potencial), tipo ponte, como micro-ohmímetros, por exemplo. Multímetro não pode ser utilizado na função de ohmímetro, desta forma, não foi possível realizar a medição de continuidade elétrica entre os subsistemas, por ausência de equipamento adequado.

Na análise de risco apresentada no Capítulo 7, foi sugerido o uso de DPS na instalação elétrica de cada módulo de forma que fosse reduzido o risco de perda econômica caso uma descarga atmosférica venha a atingir essas estruturas. Conforme observado na Figura 38, na inspeção realizada aos QDCs do Campus, foi constatado a existência de um DPS Classe II no QDC de entrada que distribui a energia elétrica a todo o Centro. Esse DPS está com a Classe adequada, pois, segundo a NBR IEC 61643-1: 2007, DPS Classe I é recomendado para locais de alta exposição, a exemplo linhas de entrada de edifícios com SPDA instalado, o que não é o caso para a entrada de energia do Campus.

Figura 38 – DPS Classe II existente no QDC de entrada do Campus



Fonte: Autor.

Em relação ao QDC suplementar, que distribui aos módulos didático e laboratorial a energia elétrica que vem do QDC de entrada do Campus, não foi encontrada a instalação de DPS, como é notado na Figura 39. Seria viável a instalação de um DPS coordenado com o DPS do QDC de entrada e com o DPS de cada módulo, pois, esse DPS no QDC suplementar poderá atenuar sobretensões induzidas que não foram dissipadas na entrada

de energia do Campus e nem nos módulos, caso os módulos sejam atingidos por descargas atmosféricas ou haja sobrecarga vindo na rede da concessionária de energia.

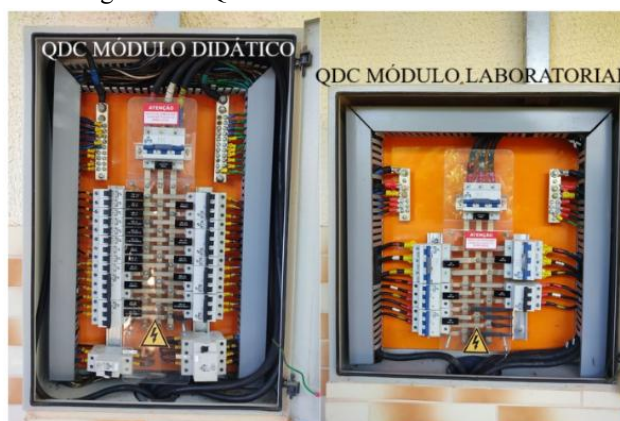
Figura 39 – QDC suplementar do Campus sem a existência de DPS



Fonte: Autor.

Para os QDCs nas entradas dos módulos didático e laboratorial, também não foi observado a existência de nenhum DPS, como é observado na Figura 40. É muito importante a existência de DPSs nesses quadros porque eles distribuem a energia elétrica em estruturas que possuem SPDA instalado, ocorrendo descargas atmosféricas, esses DPSs diminuirão bastante o risco de danos ou ferimentos aos equipamentos e pessoas. Para essas estruturas, segundo a NBR IEC 61643-1: 2007, é recomendado a instalação de DPS Classe I.

Figura 40 – QDC na entrada de cada módulo

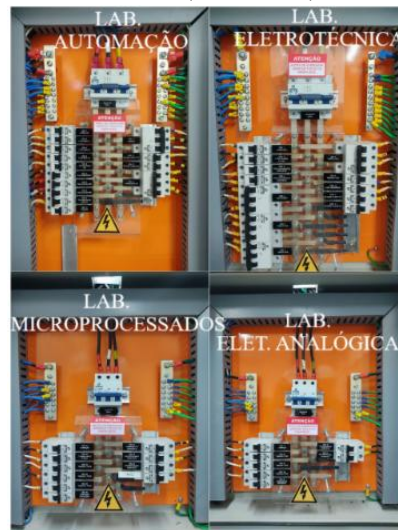


Fonte: Autor.

Na inspeção realizada no módulo didático, só foi encontrado o QDC mostrado pela Figura 40, internamente a cada sala não foi encontrado nenhum QDC. Já para o

módulo laboratorial, em cada sala (laboratório) existente, encontrou-se um quadro de distribuição de carga individual, estão reunidas na Figura 41 as imagens desses quadros.

Figura 41 – QDCs de cada sala (laboratorio) do módulo laboratorial



Fonte: Autor.

Em conformidade a NBR IEC 61643-1: 2007, para aumentar o grau de proteção aos equipamentos dos laboratórios existentes no módulo laboratorial, seria interessante a instalação de DPS Classe III em cada quadro, pois esses quadros estão mais próximos dos equipamentos, que em sua maioria são eletrônicos.

9. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

Neste capítulo descreve-se os procedimentos para medição e avaliação do aterramento elétrico do CMBJL.

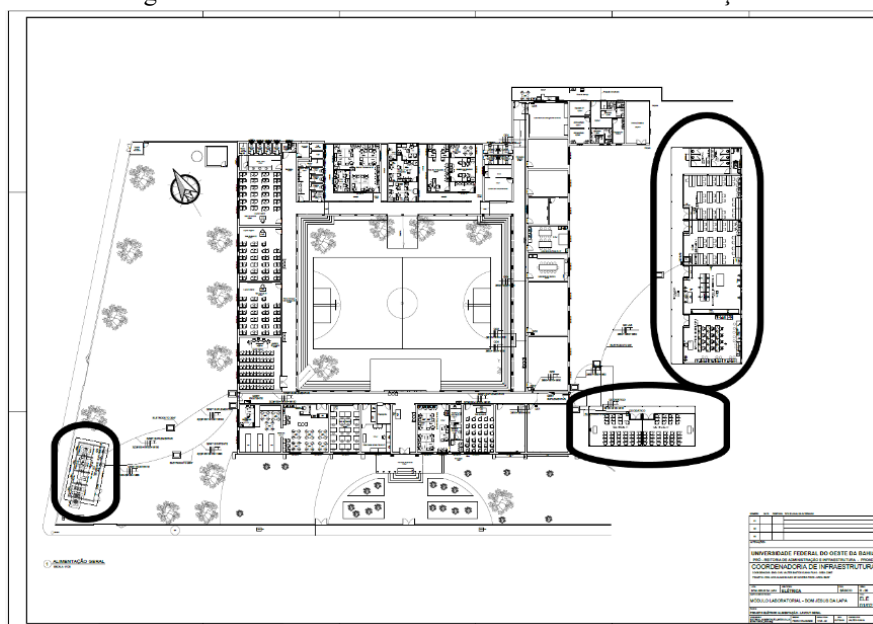
9.1. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

Primeiramente foi providenciado os dispositivos para as medições da resistência de aterramento. Em seguida, realizou-se a verificação dos pontos das malhas de aterramento do Campus e efetuou-se as medidas das resistências nas hastes. Por fim, de posse desses dados, foi verificado junto à bibliografia se os valores encontrados estão de acordo com o esperado e desejado para que os equipamentos elétricos e eletrônicos do Centro sejam protegidos em casos de sobrecorrente e sobretensão na rede elétrica.

9.1.1. Locais das Medições

As medições foram realizadas no prédio do CMBJL. Conforme planta baixa do CMBJL exposta na Figura 42, o Campus possui uma subestação abrigada, salas de aula, salas administrativas, banheiros, cantina, módulo didático (canto inferior direito) e módulo laboratorial (canto médio direito). Os aterramentos de interesse para este trabalho são da SE-CMBJL (abrigada) e dos módulos didático e laboratorial.

Figura 42 – Planta baixa do CMBJL com locais de medições



Fonte: Adaptado de Itacarambí (2018).

9.1.2. Metodologia das Medições

O terrômetro utilizado para as medições preliminares foi o HTR-770 da Hikari[®], ilustrado na Figura 43, que realiza medidas de resistência de aterramento, tensão de aterramento, tensão DC/AC, resistência, bem como é indicado para medidas de aterramento de SPDA (Hikari[®], 2022).

Figura 43 – Terrômetro utilizado com os respectivos acessórios



Fonte: Autor.

Para as medições de resistência das hastes de aterramento, utilizou-se os seguintes componentes do terrômetro HTR-770:

- Instrumento com *display* LCD duplo, tecla *HOLD* para congelar leitura, tecla *0 ~ ADJ* para ajustar o valor de zero, tecla *TEST* e terminais de entrada **V** **Ω** **C**, entrada **P** e entrada *COM E*, mostrado na Figura 44:

Figura 44 – Instrumento Terrômetro Digital HTR-770 sem os acessórios



Fonte: Autor.

- b) Cabos tipo “banana” com garra “jacaré” nas cores verde, amarelo e vermelho, com 5, 9 e 15 metros, respectivamente, exibidos na Figura 45:

Figura 45 – Cabos tipo "banana" com garras "jacaré" utilizados nas medições



Fonte: Autor.

- c) Hastes auxiliares de metal que foram inseridas no solo a 5 e 10 metros das hastes de aterramento, expostas na Figura 46:

Figura 46 – Hastes auxiliares utilizadas nas medições



Fonte: Autor.

As especificações gerais disponibilizadas pelo fabricante do equipamento utilizado são:

- *Display* LCD Duplo - 2000 Contagens ($3\frac{1}{2}$ Dígitos);
- Iluminação no *Display*;
- Taxa de Amostragem com aproximadamente 2,5 vezes por segundo;
- Indicação de Sobrefaixa sendo exibido o dígito mais significativo “1” no *display*;
- Indicador de Bateria Fraca sendo exibido no *display*;

- *Auto Power Off* com aproximadamente 15 minutos;
- Mudança de Faixa na forma manual;
- Altitude de Operação em 2000 m;
- Ambiente de Operação na faixa de 0 °C a 40 °C (32 °F a 104 °F) e RH;
- Comprimento dos Cabos: E: 5 metros (verde) – Tipo “Banana” com Garra “Jacaré”, P: 9 metros (amarelo) – Tipo “Banana” com Garra “Jacaré”, C: 15 metros (vermelho) – Tipo “Banana” com Garra “Jacaré”;
- Ambiente de Armazenamento com faixa de -10°C a 60°C (14°F a 140°F) e RH < 70%;
- Grau de Poluição igual a 2;
- Peso de aproximadamente 700 g (com as pilhas incluídas);
- Alimentação com 6 pilhas (tipo AA) de 1,5 V;
- Dimensões com 200 mm (Altura), 92 mm (Largura) e 50 mm (Profundidade).

Tomando como base o Método da Queda de Potencial da NBR 15749 (2009) para medições de resistência de aterramento, o seguinte procedimento foi realizado: Inicialmente foi inserido ao terrômetro o cabo de teste verde no terminal E, o cabo de teste amarelo no terminal P e o cabo de teste vermelho no terminal C, como exibido na Figura 47:

Figura 47 – Conexão dos cabos de testes verde, amarelo e vermelho



Fonte: Autor.

Em seguida, um curto foi fechado entre as garras “jacarés” dos cabos e foi pressionado a tecla *TEST* do terrômetro, logo após, usando a chave 0~ADV, o valor zero foi ajustado no *display*, como mostrado na Figura 48:

Figura 48 – Curto entre os cabos e ajuste do terrômetro



Fonte: Autor.

Em continuidade à medição, as hastes auxiliares foram fixadas na terra numa distância de 5 metros entre si e a 5 metros da haste de aterramento a ser analisada, como exibido na Figura 49:

Figura 49 – Hastes auxiliares fixadas no solo



Fonte: Autor.

Conforme o manual do equipamento, a distância entre as hastes pode ser entre 5 a 10 metros estando as hastes alinhadas, desta forma, para essas medições, optou-se por usar uma distância de 5 metros. Como as hastes foram fixadas em terra seca, com pedregulho ou arenosa, elas foram molhadas, de acordo recomendação do manual.

A tensão de aterramento foi medida conectando os terminais E e P ao terrômetro e às hastes de aterramento e auxiliar, respectivamente. A haste auxiliar foi fixada a 5 metros de distância, a chave seletora do terrômetro foi ajustada na posição *EARTH VOLTAGE* e o botão *TEST* foi pressionado, obtendo assim a tensão de aterramento, conforme a Figura 50.

Figura 50 – Tensão de aterramento sendo medida.



Fonte: Autor.

Após o procedimento anteriormente tratado, os equipamentos de tensão foram desligados e esperou-se o display do terrômetro apresentar o valor zero, isso é necessário para que a tensão residual não afete o valor de resistência de aterramento que seria medido em seguida.

Por fim, após a tensão de aterramento ser medida e desconectando em seguida os equipamentos de tensão, a garra tipo “jacaré” do cabo vermelho foi conectada à segunda haste auxiliar que foi fixada a 5 metros da primeira haste auxiliar, sendo essa primeira haste auxiliar fixada a 5 metros da haste de aterramento. Como o *display* foi desligado de forma automática, a chave seletora foi posicionada na posição *off* e em seguida na posição 20Ω , pois, era esperado um valor baixo de resistência. Caso fosse necessário, poderia posicionar essa chave na posição 200Ω ou 2000Ω . Estando a chave seletora na posição 20Ω , o botão *TEST* foi pressionado e o valor de resistência de aterramento foi medido, como visto na Figura 51:

Figura 51 – Exemplo de medição da resistência de aterramento



Fonte: Autor.

10. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

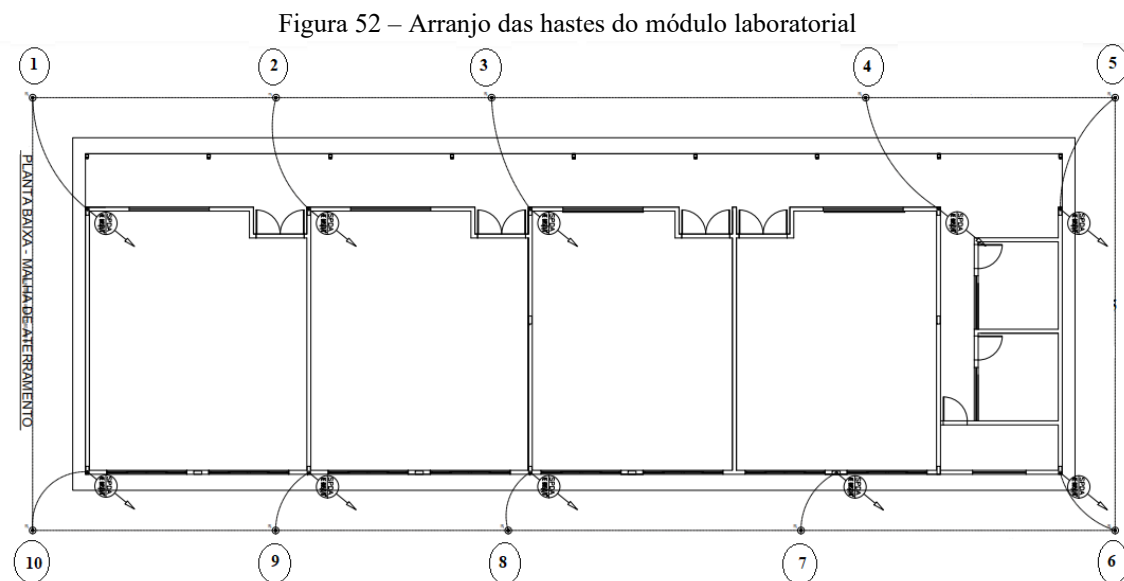
Neste Capítulo é analisado os resultados obtidos em relação às medições das resistências das hastes de aterramento do módulo didático e do módulo laboratorial, e é apresentado um resumo das inspeções realizadas em cada SPDA.

10.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

As figuras a seguir mostram os resultados obtidos referentes às medições das resistências das hastes de aterramento dos módulos didático e laboratorial, esses dados estão reunidos na Tabela 17 e Tabela 18.

10.1.1. Resistências das Hastes de Aterramento do Módulo Laboratorial

A Figura 52 ilustra o arranjo das hastes da malha de aterramento do módulo laboratorial para uma melhor compreensão de como elas estão dispostas:



Fonte: Adaptado de Bianca (2018).

Estão reunidas na Figura 53 as medidas das resistências de cada haste na malha de aterramento do módulo laboratorial.

Figura 53 – Resistências medidas nas hastes do módulo laboratorial



Fonte: Autor.

A Tabela 17 reúne os valores de tensão e resistência de aterramento das hastes do módulo laboratorial do CMBJL.

Tabela 17 – Resultados das medições no módulo laboratorial

HASTE	TENSÃO DE ATERRAMENTO (V)	RESISTÊNCIA (Ω)
1	0,0	3,31
2	0,0	3,69
3	0,1	3,74
4	0,0	4,02
5	0,0	3,95
6	0,0	0,79
7	0,0	0,93
8	0,0	1,10
9	0,4	0,82
10	0,5	1,14

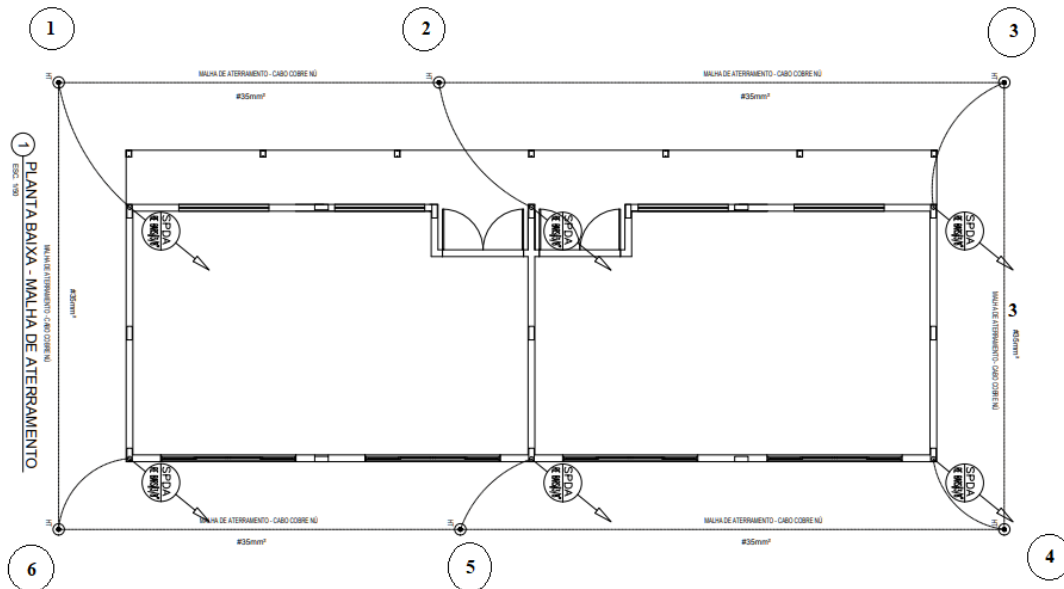
Fonte: Autor.

É possível observar na Tabela 17 que as hastes 6, 7, 8, 9 e 10 apresentam valores bem inferiores de resistência de aterramento em relação às hastes 1, 2, 3, 4 e 5. Como foi explicado na Fundamentação Teórica, um dos fatores que influenciam na resistência de aterramento é a umidade do solo, como as hastes 6, 7, 8, 9 e 10 estão instaladas num local em que as mangueiras dos ares-condicionados (quando em uso) estão despejando água, os raios solares não incidem fortemente o dia todo e a água da chuva fica retida por mais tempo por conta da localidade em si, esses resultados já eram esperados.

10.1.2. Resistências das Hastes de Aterramento do Módulo Didático

A Figura 54 ilustra o arranjo das hastes da malha de aterramento do módulo didático para uma melhor compreensão de como elas estão organizadas:

Figura 54 – Arranjo das hastes do módulo didático



Fonte: Adaptado de Bianca (2018).

Já as medidas das resistências das hastes na malha de aterramento do módulo didático estão reunidas na Figura 55:

Figura 55 – Resistências medidas nas hastes do módulo didático



Fonte: Autor.

Em relação à quinta haste do módulo didático, não foi possível realizar a medida da resistência de aterramento da mesma, pois a tampa da caixa de inspeção dessa haste estava soterrada e não foi possível encontrá-la.

A Tabela 18 reúne os valores de tensão e resistência de aterramento das hastes do módulo didático do CMBJL.

Tabela 18 – Resultados das medições no módulo didático

HASTE	TENSÃO DE ATERRAMENTO (V)	RESISTÊNCIA (Ω)
1	0,0	3,43
2	0,0	3,74
3	0,0	1,65
4	0,0	3,38
5	X	X
6	0,0	1,24

Fonte: Autor.

10.1.3. Resistências das Hastes de Aterramento da Subestação Do CMBJL

Como não ocorreu o desligamento da SE do CMBJL durante o andamento deste trabalho, por questões de segurança, não foi possível realizar as medidas das resistências nas hastes da malha de aterramento da subestação do Campus.

10.1.4. Inspeção em Cada SPDA

As inconformidades e ações sugeridas para sanar os problemas encontrados nos SPDAs dos módulos didático e laboratorial estão reunidas de forma resumida no Quadro 1 e no Quadro 2.

Quadro 1 – Resumo de inconformidades e ações corretivas recomendadas

Item avaliado	Inconformidade encontrada	Ação corretiva sugerida
Hastes de aterramento	Algumas hastes com oxidação.	Realizar a troca dos conectores oxidados e limpar das hastes
Subsistema de captação	Captore faltantes ou mal posicionados/fixados.	Instalar os captore que faltam em cada módulo e ajustar/corrigir a fixação dos captore mal fixados.
Subsistema de descida	Não foi possível a verificação da a condição de cada descida por falta de ponto de inspeção.	Instalar caixas de inspeção em cada descida para inspeções e verificações de continuidade.
Conexões entre os subsistemas	Alguns pontos com oxidação.	Trocar os conectores oxidados e verificar sua a correta instalação.
Pontos de inspeção	Poucos locais adequados para manutenções e testes de conformidade.	Instalar caixas de inspeção nos locais adequados com acesso para medições e manutenções.
Continuidade da malha de aterramento	Não foi possível testar a continuidade entre as hastes de aterramento por falta de equipamento adequado.	Adquirir equipamento adequado para os testes de continuidade entre as hastes de aterramento e entre os subsistemas do SPDA.

Fonte: Autor.

Observa-se no Quadro 2 a continuação das informações vistas no Quadro 1.

Quadro 2 – Resumo de inconformidades e ações corretivas recomendadas, continuação

Item avaliado	Inconformidade encontrada	Ação corretiva sugerida
Estado físico das conexões	Corrosão e falhas mecânicas.	Substituir conexões defeituosas e aplicar proteção anticorrosiva.
Ensaio de continuidade elétrica entre os subsistemas do SPDA	Não realizado.	Executar ensaios conforme Norma específica.
Manutenção preventiva	Inexistente ou ineficaz.	Implementar plano de manutenção periódica com equipe capacitada.
Documentação técnica	Inexistência de laudo de vistoria, manutenção e ensaio de cada SPDA.	Providenciar/elaborar laudo técnico com ART e memorial descritivo assinado(a) por profissional capacitado(a).

Fonte: Autor.

10.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo observado na Tabela 17 e na Tabela 18, os valores encontrados para as resistências das hastes de aterramento do módulo laboratorial e do módulo didático foram baixos. Apesar de não constar em Norma um valor adequado para a resistência de aterramento, valores baixos como os encontrados são adequados para o bom e correto funcionamento de um sistema de aterramento bem como de um SPDA.

Tratando dos SPDAs do módulo didático e do módulo laboratorial, como observado no Quadro 1 e no Quadro 2, os principais problemas encontrados em cada sistema são em relação às manutenções corretivas e preventivas, o que é normal, haja visto que cada SPDA foi construído já há alguns anos.

10.2.1. Limitações do Trabalho

Como informado, não foi possível efetuar as medições das resistências das hastes na malha de aterramento da SE-CMBJL, por questões de segurança. Além disso, por falta de equipamento específico indicado por Norma, também não foi possível realizar os ensaios de continuidade entre os subsistemas de cada SPDA.

11. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram descritos os principais fundamentos teóricos que envolvem o tema sistema de aterramento e SPDA. Também foram abordados os mais relevantes fenômenos físicos e elétricos intrínsecos ao assunto e que influenciam nos valores de resistência e resistividade do solo como a influência da umidade, a compactação e a natureza do terreno. Além disso, foram apresentadas as plantas do CMBJL, da subestação abrigada do Campus e as plantas dos módulos didático e laboratorial, foram expostas minuciosamente a metodologia e os procedimentos utilizados nas medições de resistência de aterramento, sendo possível obter os valores de resistência das hastes utilizadas no SPDA do módulo didático e módulo laboratorial.

Assim, foi possível observar que os valores de resistência de aterramento medidos nas hastes são baixos, evidenciando que o sistema de aterramento usado é eficiente, sendo possível proteger as pessoas, os animais, os equipamentos e as instalações elétricas em si em casos de curto-circuito ou sobrecarga. Ainda para a obtenção dos resultados, realizou-se a análise de risco de cada módulo, onde foi mostrado que a perda de valor econômico é principal risco em casos de descargas atmosféricas nas estruturas de interesse e tratou-se ainda das condições atuais de cada subsistema do SPDA do módulo didático bem como do módulo laboratorial, indicando as inconformidades e possíveis melhorias em cada sistema.

Nos capítulos subsequentes, discutiu-se sobre as limitações do trabalho, pois, apesar dos resultados obtidos serem promissores, ainda não foi possível medir e avaliar o aterramento elétrico da SE-CMBJL, bem como a continuidade elétrica entre os subsistemas dos SPDAs. A continuidade entre os subsistemas é de suma importância em qualquer SPDA, como visto.

Não obstante, pode-se concluir que o objetivo principal foi alcançado, expondo e disponibilizando informações e dados importantes para que a Administração do CMBJL possa tomar, no futuro, decisões bem embasadas sobre os temas abordados.

11.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme o que foi apresentado neste trabalho, fica como sugestão para trabalhos futuros a inspeção da malha de aterramento da SE-CMBJL realizando as respectivas

medidas das resistências de aterramento de cada haste. Além disso, inspecionar a continuidade elétrica entre os subsistemas de cada SPDA do Campus e corrigir as falhas encontradas em cada sistema. Fica também como sugestão a verificação e projeto de um SPDA em todo o prédio do CMBJL de forma que toda a edificação do Centro seja protegida em eventuais descargas atmosféricas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 05410: Instalações Elétricas de baixa Tensão**. Rio de Janeiro-RJ: 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 05419-2: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro-RJ: 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 05419-3: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro-RJ: 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 07117: Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo**. Rio de Janeiro-RJ: 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 07117-1: Parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos Parte 1: Medição da resistividade e modelagem geolétrica**. Rio de Janeiro-RJ: 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos**. Rio de Janeiro-RJ. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15749: Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento**. Rio de Janeiro – RJ: 2009.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações elétricas prediais: conforme norma NBR 5410: 2004**. Ed. Érica, 2006.

COTRIM, A. M. B. **Instalações Elétricas**. 5.ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo-SP: 2010.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15.ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2016.

SOUZA, ANDRÉ NUNES de et al. **SPDA–Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas-Teoria, Prática e Legislação**. Saraiva Educação SA, 2020.

HIKARI, **Manual de instruções do Terrômetro digital HTR-770**. Hikari. China, 2022.

KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento Elétrico**, 3. ed, Editora Sagra-DC Luzzatto, Porto Alegre-RS, 1995.

LEONARDO, Energy Brasil S/A. **Aterramento Elétrico**, Disponível em: <https://leonardo-energy.org.br/iniciativas/curso-instalacoes-eletricas-modulo-1-fundamentos-de-eletricidade/>; Acessado em 06/11/2023 às 08:45.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 9.ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2010.

MAMEDE FILHO, J. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 4.ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2013.

VISACRO FILHO, S. **Aterramentos Elétricos**. 1.ed. São Paulo-SP: Artliber, 2015.

VISACRO FILHO, S. **Descargas Atmosféricas**. 1.ed. São Paulo-SP: Artliber, 2005.