



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

WOSHINGTON LUIZ LUCENA SERRANO

**Descrição das Atividades Desenvolvidas na
Coordenação de Obras e Engenharia do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba (COE-IFPB)**

João Pessoa, Paraíba

Maio de 2019

Woshington Luiz Lucena Serrano

**Descrição das Atividades Desenvolvidas na Coordenação
de Obras e Engenharia do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia da Paraíba (COE-IFPB)**

Relatório de Estágio Supervisionado apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como um dos pré-requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Nady Rocha, Dr. Sc.
Professor Orientador**

**Jose Mauricio Ramos de Souza Neto,
Dr. Sc.
Professor Avaliador**

**Rogério Gaspar de Almeida, Dr. Sc.
Professor Avaliador**

**Renan Dantas da Nobrega
Supervisor de Estágio**

João Pessoa, Paraíba
Maio de 2019

Resumo

Este relatório propõe-se descrever as atividades desenvolvidas pelo estagiário Woshington Luiz Lucena Serrano, ao longo do estágio curricular obrigatório, na Coordenação de Obras e Engenharia no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (COE-IFPB) de agosto de 2018 a abril de 2019. Dentre as atividades desenvolvidas são focadas a análise da tarifação de energia elétrica, projeto de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e visitas as obras para a realização de fiscalização, acompanhamento do cronograma, realização de medições de execução de serviços e inspeções.

Palavras-chaves: Estágio, COE-IFPB, Tarifação de Energia Elétrica, SPDA, Fiscalização.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção.	20
Figura 2 – Exemplo de uma estrutura complexa.	22
Figura 3 – Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.	32
Figura 4 – Comprimento mínimo l_1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.	33
Figura 5 – Demanda ponta medida contratada e proposta do campus Cajazeiras. .	36
Figura 6 – Demanda fora ponta medida contratada e proposta do campus Cajazeiras.	36
Figura 7 – Detalhe da planta da cobertura e fachada do bloco de Engenharia Civil do campus Cajazeiras do IFPB.	40
Figura 8 – Detalhe do subsistema de captação.	41
Figura 9 – Detalhe do subsistema de descida.	42
Figura 10 – Detalhe do subsistema de aterramento e caixa de inspeção.	43
Figura 11 – Malha captora de SPDA com descontinuidade.	43
Figura 12 – Sombramento gerado no banheiro devido a rotação de luminárias. . . .	44
Figura 13 – Eletrodo de aterramento com baixa profundidade.	44
Figura 14 – Má conexão de cabos do ramal de alimentação.	45

Lista de tabelas

Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto.	15
Tabela 2 – Valores típicos de risco tolerável R_T	19
Tabela 3 – Fator de Localização C_D	21
Tabela 4 – Fator tipo de linha C_T	22
Tabela 5 – A Fator de instalação da linha C_I	23
Tabela 6 – Fator ambiental da linha C_E	23
Tabela 7 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos.	24
Tabela 8 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.	25
Tabela 9 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas	26
Tabela 10 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados.	26
Tabela 11 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento	27
Tabela 12 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento.	28
Tabela 13 – Tipo de perda L_1 : Valores médios típicos de L_T e L_F	29
Tabela 14 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso.	29
Tabela 15 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio.	30
Tabela 16 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura.	30
Tabela 17 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial.	30
Tabela 18 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA.	31
Tabela 19 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.	32
Tabela 20 – Exemplo da planilha com dados das tarifás de energia elétrica.	35
Tabela 21 – Características da estrutura e do meio ambiente.	37
Tabela 22 – Parâmetros da linha de energia.	37
Tabela 23 – Parâmetros da linha de sinal.	38

Tabela 24 – Fatores válidos para a zona z_1	38
Tabela 25 – Fatores válidos para a zona z_2	39
Tabela 26 – Áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas.	39
Tabela 27 – Risco R_1 para a estrutura não protegida.	40
Tabela 28 – Risco R_1 para a estrutura protegida.	40

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos do Estágio	9
1.2	A Empresa	9
1.2.1	Missão	10
1.3	Organização do Trabalho	10
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	11
2.1	Normas Aplicadas	11
2.2	Sistema Tarifário Brasileiro	11
2.2.1	Conceitos Básicos	12
2.2.2	Grupos de Consumidores	12
2.2.3	Modalidade Tarifaria Horossazonal	13
2.3	Proteção Contra Descargas Atmosféricas	13
2.3.1	Danos e Perdas	14
2.3.1.1	Fontes de Danos	14
2.3.1.2	Tipos de Danos	14
2.3.1.3	Tipos de Perdas	14
2.3.2	Riscos e Componentes de Risco	15
2.3.2.1	Riscos	15
2.3.2.2	Componentes de Risco para uma Estrutura Devido às Descargas Atmosféricas na Estrutura	16
2.3.2.3	Componentes de Risco para uma Estrutura Devido às Descargas Atmosféricas Perto da Estrutura	17
2.3.2.4	Componentes de Risco para uma Estrutura Devido às Descargas Atmosféricas a uma Linha Conectada à Estrutura	17
2.3.2.5	Componente de Risco para uma Estrutura Devido às Descargas Atmosféricas Perto de uma Linha Conectada à Estrutura	18
2.3.2.6	Composição dos Componentes de Risco	19
2.3.2.7	Risco Tolerável	19
2.3.2.8	Gerenciamento de Risco	19
2.3.3	Análise do Número Anual N_X de Eventos Perigosos	20
2.3.3.1	Análise do Número Médio Anual de Eventos Perigosos N_D Devido a Descargas Atmosféricas na Estrutura e N_{DJ} em uma Estrutura Adjacente	21
2.3.3.1.1	Determinação da Área de Exposição Equivalente A_D ou A_{DJ}	21

2.3.3.2	Avaliação do Número Médio Anual de Eventos Perigosos N_L Devido a Descargas Atmosféricas na Linha	23
2.3.4	Avaliação da Probabilidade P_X de Danos	24
2.3.4.1	Probabilidade P_A de uma Descarga Atmosférica em uma Estrutura Causar Ferimentos a Seres Vivos Por Meio de Choque Elétrico	24
2.3.4.2	Probabilidade P_U de uma Descarga Atmosférica em uma Linha Causar Ferimentos a Seres Vivos por Choque Elétrico	24
2.3.4.3	Probabilidade P_V de uma Descarga Atmosférica em uma Linha Causar Danos Físicos	26
2.3.5	Análise de quantidade de perda L_X	26
2.3.5.1	Perda de vida humana (L_1)	28
2.3.6	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas	29
2.3.6.1	Classe do SPDA	31
2.3.6.2	Sistema Externo de Proteção Contra Descargas Atmosféricas	31
2.3.6.2.1	Subsistema de captação	31
2.3.6.2.2	Subsistema de Descida	31
2.3.6.2.3	Subsistema de Aterramento	32
2.3.6.2.4	Equipotencialização	33
2.4	Conclusões	33
3	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	34
3.1	Análise de Tarifação de Energia	34
3.2	SPDA	35
3.2.1	Projeto de SPDA	39
3.3	Inspeções de Obras	42
3.4	Conclusões	45
4	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48

Identificação

Empresa

Nome: IFPB - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Endereço: R. das Trincheiras, N° 275.

Barro: Centro.

Cidade/Estado: João Pessoa - Paraíba.

CEP: 58073-470.

TEL: 55 (83) 2107-4313.

Estágio

Setor da empresa: COE - Coordenação de Obras de Engenharia.

Data de início: 02/08/2018.

Data de término: 13/10/2018.

Carga horária semanal: 20 horas.

Carga horária total: 190 horas.

Supervisor de Estágio: Renan Dantas da Nobrega.

1 Introdução

O estágio curricular obrigatório do curso de graduação em Engenharia Elétrica é uma disciplina primordial para a formação do futuro engenheiro, pois pode proporcionar uma oportunidade ímpar com o primeiro contato no mercado de trabalho, mostrando-lhe a realidade do dia a dia da profissão gerando uma conexão prática do conhecimento teórico visto em sala de aula. Outrossim, o estágio simplifica o ingresso do aluno no mercado de trabalho, desenvolve suas competências e facilita sua decisão de carreira.

O estágio foi realizado no setor de Engenharia Elétrica na Coordenação de Obras e Engenharia (COE) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). Suas atividades foram desenvolvidas na área de sistemas de energia. A área de sistemas de energia estuda como foco principal os sistemas de potência, desde a sua geração, passando pela transmissão e distribuição onde chega no consumidor final. Nesse espaço, há estudos em sistemas de instalações elétricas, fontes de energia, proteção, qualidade de energia, gestão de geração, automação, eficiência energética entre outros.

Nesse estágio foram desenvolvidas atividades de projetos, revisões e levantamento de quantitativos de instalações elétricas. Foram realizadas planilhas orçamentárias, projetos de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), análises de tarifação de energia elétrica, projetos das instalações de entradas de serviço de energia elétrica. Além disso, foram realizados acompanhamentos de serviços de manutenção de instalações elétricas e visitas em obras para efetuação de medições de realização de serviços e verificar se a execução está em conformidade com o projeto e dentro das normas vigentes. Todas as atividades foram executadas sob a supervisão de um engenheiro eletricista, um engenheiro civil e dois técnicos de eletrotécnica.

1.1 Objetivos do Estágio

O objetivo deste estágio resume-se a realizar o auxílio supervisionado na edição e revisão de projetos de instalações elétricas, no acompanhamento de cronogramas do setor, fiscalização de obras em andamento com levantamento quantitativos de projetos e planilhas orçamentárias.

1.2 A Empresa

O IFPB é uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Educação e Cultura - MEC, que oferece cursos em ensino profissional no estado da Paraíba. Originado com a

integração do Centro Federal de Educação e Tecnológica da Paraíba - CEFET-PB e da Escola Agrotécnica Federal de Sousa.

O IFPB conta com 21 unidades espalhadas em todo estado, entre campus, campus avançado e campus em fase de implantação. As unidades em fase de implantação são gerenciadas pela Reitoria, que tem sede na capital, João Pessoa. A COE é uma coordenação responsável pela fiscalização, supervisão de obras, manutenção dos campi, projeto e orçamentos de obras públicas do IFPB.

1.2.1 Missão

O IFPB tem a visão de ser instituição de excelência na promoção do desenvolvimento profissional, tecnológico e humanístico de forma ética e sustentável beneficiando a sociedade, alinhado às regionalidades em que está inserido.

Sua missão é oferecer educação profissional, tecnológica e humanística em todos os seus níveis e modalidades por meio do Ensino, da Pesquisa e da Extensão, na perspectiva de contribuir na formação de cidadãos para atuarem no mundo do trabalho e na construção de uma sociedade inclusiva, justa, sustentável e democrática.

1.3 Organização do Trabalho

O relatório é dividido em mais três capítulos. O capítulo 2 exibe as normas técnicas utilizadas ao longo do estágio, onde mostra qual a finalidade de aplicação de cada uma. Mostra um embasamento teórico sobre o sistema de tarifação brasileiro, detalhando-se conceitos básicos das variáveis utilizadas na tarifação de energia elétrica, explana as diferenças entre os grupos e subgrupos de consumidores, e mostra as modalidades de tarifação horossazonal. Além disso, é realizado um embasamento teórico sobre sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, onde ilustra o cálculo de gerenciamento de risco e as principais características dos subsistemas de captação, descida e aterramento.

O capítulo 3 sintetiza uma descrição das atividades realizadas durante o estágio, onde exibe os detalhes das análises de tarifação de energia elétrica e seus resultados. Também é mostrado um projeto de SPDA aplicado ao bloco de Engenharia Civil no IFPB campus Cajazeiras. E por fim é mostrado detalhes de alguns problemas encontrados e resolvidos durante a realização da fiscalização em obras dos campi do IFPB.

No capítulo 4 são elaboradas considerações gerais sobre o estágio descrito nos capítulos anteriores, objetivando mostrar a importância do estágio, os conhecimentos adquiridos e as dificuldades.

2 Embasamento Teórico

Neste capítulo apresentam-se alguns conceitos teóricos que foram explorados com maior ímpeto durante a vigência do estágio.

2.1 Normas Aplicadas

Nessa seção serão mostrados as principais normas utilizadas nas atividades do estágio.

Foi utilizado NBR 5410/2004 que regulamenta projetos de instalações elétricas de baixa tensão. A NBR 8995/2013 determina requisitos de iluminação de interiores de forma eficiente, proporcionando conforto e segurança para as pessoas. A NBR 5101/2012 que estabelece requisitos para iluminação pública, que se propõe a fornecer segurança ao tráfego de pedestres e veículos.

Também foi utilizado NBR 5419/2015 que faz avaliação de risco de uma estrutura devido a uma descarga atmosférica, fornece os requisitos de proteção contra uma descarga atmosférica e fornece informações sobre sua instalação e inspeção, além de teste de proteção de sistema eletroeletrônicos contra impulsos eletromagnéticos gerados por uma descarga atmosférica.

Além disso, foi utilizado a Norma de Distribuição Unificada NDU 001 do Grupo Energisa que fixa os procedimentos a serem seguidos em projetos de instalações de entradas de serviço das unidades consumidoras de baixa tensão em toda a área de concessão.

2.2 Sistema Tarifário Brasileiro

De forma geral, o sistema de tarifação brasileiro é um conjunto de normas que têm o objetivo de determinar o preço da energia elétrica para os consumidores. O seu estudo é importante para todos os trabalhos que propõem-se reduzir custos em sistemas de energia. O órgão regulador é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que utiliza a Resolução N° 414 de 9 de setembro de 2010.

A ANEEL aponta uma tarifa justa para o consumidor, buscando um faturamento para garantir a manutenção econômica e financeira da concessão. As tarifas são compostas pelos custos operacionais da concessionária de energia, compra de energia, transmissão, encargos setoriais e tributos.

2.2.1 Conceitos Básicos

Aqui será mostrado algumas definições dos conceitos utilizados na tarifação de energia elétrica. Essas definições foram obtidas a partir de (ANEEL, 2010)

Demanda: média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado, expressa em quilowatts (kW) e quilovolt-ampère-reactivo (kVar), respectivamente;

Demanda contratada: demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, e que deve ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW);

Demanda faturável: valor da demanda de potência ativa, considerada para fins de faturamento, com aplicação da respectiva tarifa, expressa em quilowatts (kW);

Demanda medida: maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada em intervalos de quinze minutos durante o período de faturamento;

Demanda de ultrapassagem: parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada em mais de 5% expressa em quilowatts (kW);

Horário de ponta: é o período de três horas consecutivas exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária, em função das características de seu sistema elétrico. Em algumas modalidades tarifárias, nesse horário a demanda e o consumo de energia elétrica têm preços mais elevados;

Horário fora de ponta: Corresponde às demais 21 horas do dia, que não sejam às referentes ao horário de ponta;

Período seco: período de sete ciclos de faturamentos consecutivos, referente aos meses de maio a novembro;

Período úmido: período de 5 (cinco) ciclos de faturamento consecutivos, referente aos meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

2.2.2 Grupos de Consumidores

Os consumidores do grupo A, possuem tarifa binômia, ou seja, são faturados pela demanda e pela energia. Já os do grupo B, têm tarifa monômia, ou seja, são faturados apenas pela energia que consomem.

O Grupo A é dividido em subgrupos de acordo com a tensão de fornecimento, são elas:

- Subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- Subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- Subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV;
- Subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
- Subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Para o grupo B existe um custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal do consumidor, esse custo é o valor em moeda corrente equivalente a: 30 kWh, se monofásico a dois condutores, 50 kWh, se bifásico a três condutores, ou 100 kWh se trifásico. O grupo B é dividido de acordo com o tipo da atividade da unidade consumidora, são elas:

- Subgrupo B1 - residencial;
- subgrupo B2 - rural;
- subgrupo B3 – demais classes;
- subgrupo B4 - Iluminação Pública.

2.2.3 Modalidade Tarifaria Horossazonal

Na modalidade de tarifação horossazonal aplicam-se tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia (horário de ponta e horário fora de ponta) e dos períodos do ano (seco e úmido).

Na tarifa horossazonal azul é cobrado tarifas de horário de ponta e fora de ponta para demanda de potência e consumo de energia elétrica. Na tarifa horossazonal verde é cobrado tarifas de horário de ponta e fora de ponta para o consumo de energia elétrica, já na demanda de potência é cobrada apenas no horário fora de ponta. Em ambas as modalidades caso exista uma demanda superior a 5% da demanda contratada é cobrado uma multa por demanda de ultrapassagem com o dobro da tarifa cobrada normalmente.

2.3 Proteção Contra Descargas Atmosféricas

Estudar a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas é de fundamental importância, pois as descargas atmosféricas podem acarretar graves transitórios nas redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, além de provocarem danos estruturais nas edificações atingidas, e ainda havendo risco de perda de vidas humanas. Sem falar

na descontinuação de serviços públicos como fornecimento de água e energia e perdas de patrimônios culturais (FILHO, 2017) (NBR5419, 2015).

Neste contexto, a NBR 5419/2015 fornece uma rotina de gerenciamento de risco para determinar se uma determinada estrutura necessita ou não de um SPDA e também fornece métodos para o dimensionamento de um SPDA completo para a estrutura.

2.3.1 Danos e Perdas

A NBR 5419/2015 nomeia as fontes de danos, os tipos de danos, perdas e riscos envolvidos no processo de gerenciamento de risco como mostrado a seguir.

2.3.1.1 Fontes de Danos

As fontes de danos são definidas com o local de impacto de uma descarga atmosférica, são elas:

- S_1 : descarga atmosférica que atinge a estrutura;
- S_2 : descarga atmosférica que atinge áreas próximas à estrutura;
- S_3 : descarga atmosférica que atinge a linha de energia elétrica e linha de sinal;
- S_4 : descarga atmosférica que atinge as proximidades da linha de energia elétrica, e linha de sinal.

2.3.1.2 Tipos de Danos

Os tipos de danos causados por uma descarga atmosférica estão associados ao tipo de construção, tipo de serviço executado no seu interior e medidas de proteção associadas, são eles:

- D_1 : ferimentos a seres vivos por choque elétrico;
- D_2 : danos físicos;
- D_3 : falhas de sistemas eletroeletrônicos.

2.3.1.3 Tipos de Perdas

Os tipos de perdas considerados a seguir são um resultado de um dano sozinho ou em combinação com outros.

- L_1 : ferimentos a seres vivos por choque elétrico;

- L_2 : perda de serviço público;
- L_3 : perda de patrimônio cultural;
- L_4 : perdas de valores econômicos.

Na Tabela 1 é mostrado a relação entre a diferentes situações de impacto de uma descarga atmosférica e os diferentes tipos de danos e perdas.

Tabela 1 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto.

Fontes de Danos	Tipos de Danos	Tipos de Perdas
S_1	D_1	L_1
	D_2	L_1, L_2, L_3, L_4
	D_3	L_1, L_2, L_4
S_2	D_3	L_1, L_2, L_4
S_3	D_1	L_1, L_2, L_4
	D_2	L_1, L_2, L_3, L_4
	D_3	L_1, L_2, L_4
S_4	D_3	L_1, L_2, L_4

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

2.3.2 Riscos e Componentes de Risco

2.3.2.1 Riscos

Segundo (FILHO, 2017) o risco é uma grandeza que indica um provável dano e perda anual média de vidas, bens etc., quando se projeta um SPDA para a proteção de uma estrutura.

Na análise de risco em que está submetida uma estrutura a descargas atmosféricas, são considerados quatro riscos.

- R_1 : risco de perda de vida humana, incluindo ferimentos;
- R_2 : risco de perda de serviço público;
- R_3 : risco de perda de patrimônio cultural (museus, monumentos históricos etc.);
- R_4 : risco de perda de valores econômicos.

Segundo a 5419/2015 o risco R_4 não é obrigatório para o cálculo de avaliação do quanto uma proteção contra descargas atmosféricas é necessária ou não. Assim, com o

objetivo de ser menos prolixo, nesse trabalho não será apresentado como calcular o risco R_4 .

Os componentes de risco que compõem os riscos R_1 a R_3 são divididos com relação as fontes de danos. A equação básica utilizada na análise das componentes de risco é mostrada na Eq. (2.1).

$$R_X = N_X P_X L_X \quad (2.1)$$

Onde:

N_X : é o número de eventos perigosos por ano;

P_X : é a probabilidade de dano à estrutura;

L_X : é a perda consequente. Aqui Subscrito X representa as letras adotadas nos componentes de risco mostrados adiante.

2.3.2.2 Componentes de Risco para uma Estrutura Devido às Descargas Atmosféricas na Estrutura

R_A : componente relacionado a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas. Seu cálculo é realizado por meio da Eq. (2.2).

$$R_A = N_D P_A L_A \quad (2.2)$$

Onde:

N_D : Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas à estrutura;

P_A : Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico;

L_A : Perda devido a ferimentos a seres vivos por choque elétrico.

A componente referente a danos físicos causados por centelhamentos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente é nomeada por R_B e seu calculado é feito por meio da Eq. (2.3).

$$R_B = N_D P_B L_B \quad (2.3)$$

Onde:

P_B : Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar danos físicos;

L_B : Perda devido a danos físicos.

A componente relativo a falhas de sistemas internos causados por pulsos eletromagnéticos devido a descargas atmosféricas R_C é calculada na Eq. (2.4).

$$R_C = N_D P_C L_C \quad (2.4)$$

Onde:

P_C : Probabilidade de uma descarga atmosférica na estrutura causar falha de sistemas internos;

L_C : Perda devido a falha de sistemas internos.

2.3.2.3 Componentes de Risco para uma Estrutura Devido às Descargas Atmosféricas Perto da Estrutura

A componente relativo a falhas de sistemas internos causados por pulsos eletromagnéticos devido a descargas atmosféricas R_M é Calculada com a Eq. (2.5).

$$R_M = N_M P_M L_M \quad (2.5)$$

Onde

N_M : Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto da estrutura;

P_M : Probabilidade de uma descarga atmosférica perto da estrutura causar falha de sistemas internos;

L_M : Perda devido a falha de sistemas internos.

2.3.2.4 Componentes de Risco para uma Estrutura Devido às Descargas Atmosféricas a uma Linha Conectada à Estrutura

A componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura R_U é calculada com a formula mostrada na Eq. (2.6).

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) P_U L_U \quad (2.6)$$

Onde:

N_L : Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura;

N_{DJ} : Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas a uma estrutura adjacente;

P_U : Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico;

L_U : Perda devido a ferimentos a seres vivos por choque elétrico.

A componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhas perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura) devido a descargas atmosféricas R_V é Calculada com a Eq. (2.7).

$$R_V = (N_L + N_{DJ})P_V L_V \quad (2.7)$$

Onde:

P_V : Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos;

L_V : Perda devido a danos físicos.

A componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta R_W é Calculada com a Eq. (2.8).

$$R_W = (N_L + N_{DJ})P_W L_W \quad (2.8)$$

Onde:

P_W : Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos;

L_W : Perda devido a falha de sistemas internos.

2.3.2.5 Componente de Risco para uma Estrutura Devido às Descargas Atmosféricas Perto de uma Linha Conectada à Estrutura

A componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta R_Z é Calculada com a Eq. (2.9).

$$R_Z = N_I P_Z L_Z \quad (2.9)$$

Onde:

N_I : Número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura;

P_Z : Probabilidade de uma descarga atmosférica perto de uma linha causar falha de sistemas internos;

L_Z : Perda devido a falha de sistemas internos.

2.3.2.6 Composição dos Componentes de Risco

A composição dos riscos associados as perdas L_1 , L_2 e L_3 utilizados na metodologia de cálculo para o gerenciamento de riscos é mostrado nas Eqs. (2.10), (2.11) e (2.12).

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1 \quad (2.10)$$

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2.11)$$

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (2.12)$$

O sobrescrito 1 indica que os componentes de risco só serão considerados para estruturas com risco de explosão e para hospitais com equipamentos elétricos para salvar vidas ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possa por em perigo a vida humana. Neste trabalho, foram realizados projetos de SPDA apenas ambientes escolares, onde não há risco de exposição nem hospitais nas suas dependências, com isso, buscando ser mais sucinto será suprimido o desenvolvimento dos termos dependentes a esses quesitos.

2.3.2.7 Risco Tolerável

É um dever da autoridade que tenha jurisdição identificar o valor do risco tolerável R_T . Na Tabela 2 é mostrado os riscos toleráveis admitidos para os riscos R_1 , R_2 e R_3 .

Tabela 2 – Valores típicos de risco tolerável R_T

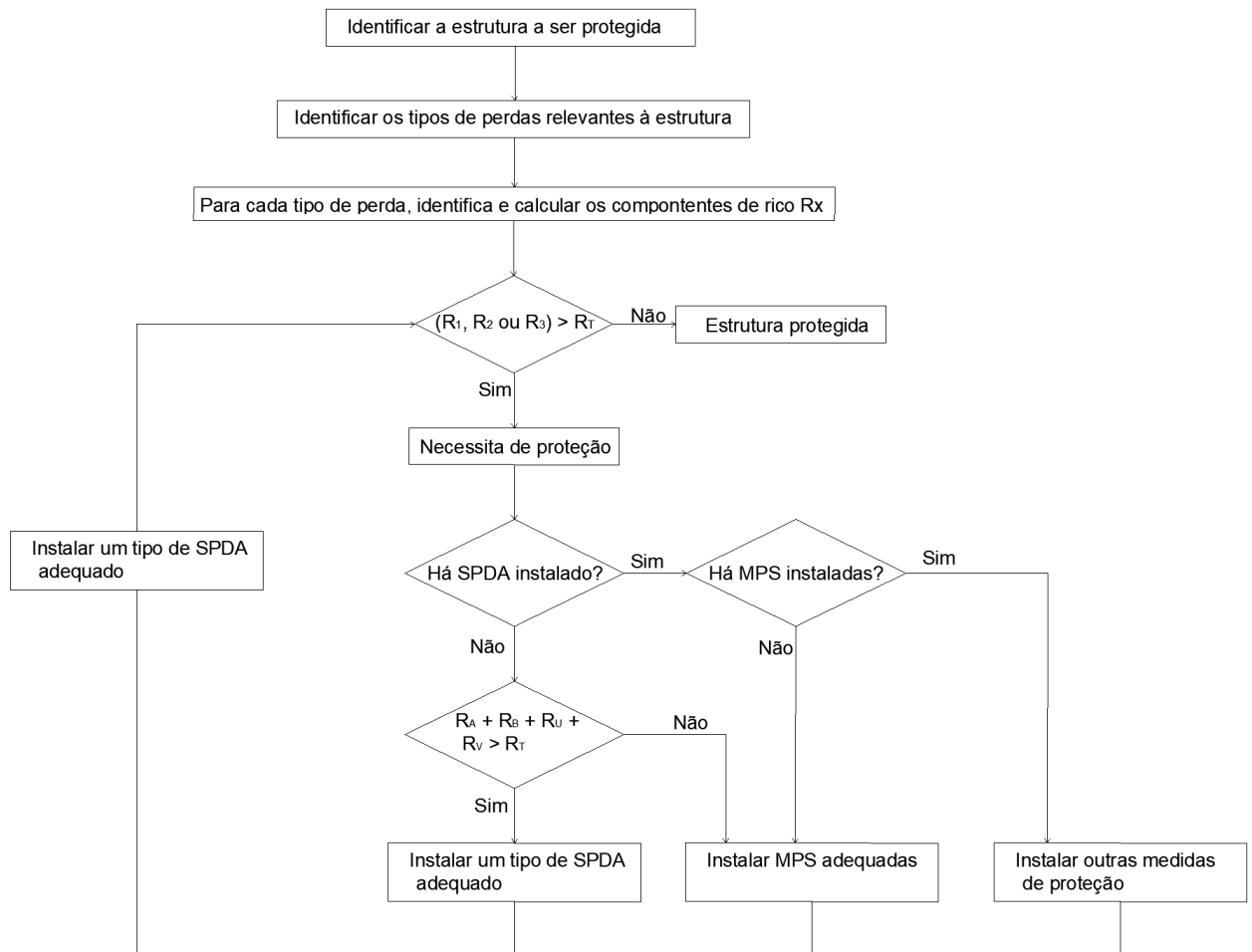
Tipode de Perda		R_T
L_1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L_2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L_3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

2.3.2.8 Gerenciamento de Risco

A NBR 5419/2015 apresenta uma metodologia de cálculo de gerenciamento de risco para se definir a necessidade ou não de um SPDA, e se sim, também define qual a classe do SPDA necessária. Essa metodologia consiste em ir acrescentando medidas de segurança e refazer o cálculo de risco até alcançar os riscos tolerável mostrado na Tabela 2. Na Figura 1 é mostrado o fluxograma do cálculo.

Figura 1 – Procedimento para decisão da necessidade da proteção e para selecionar as medidas de proteção.



Fonte: NBR 5419/2015.

2.3.3 Análise do Número Anual N_X de Eventos Perigosos

O número de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas que afetam a estrutura a ser protegida depende das descargas atmosféricas na região onde a estrutura está localizada e das características físicas da estrutura.

A densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G é o número de descargas atmosféricas por km^2 /ano. Este valor é disponível nas redes de localização de descargas atmosféricas para a terra em diversas áreas no mundo. No Brasil este valor é divulgado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do site mostrado em (INPE, 2019).

2.3.3.1 Análise do Número Médio Anual de Eventos Perigosos N_D Devido a Descargas Atmosféricas na Estrutura e N_{DJ} em uma Estrutura Adjacente

O N_D é obtido a partir da Eq. (2.13).

$$N_D = N_G A_D C_D 10^{-6} \quad (2.13)$$

Onde:

A_D : é a área de exposição equivalente da estrutura, expressa (m^2) calculada pela Eq. 2.15;

C_D : é o fator de localização da estrutura, seus valores são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Fator de Localização C_D .

Localização relativa	C_D
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada 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 NBR 5419/2015.

O N_{DJ} é o número médio anual de eventos perigosos devido à descarga atmosférica direta a uma estrutura conectada na extremidade de uma linha, seja ela de energia ou de sinal e caso existam os dois tipos de linhas, elas devem adicionadas ao cálculo. Calcula-se N_{DJ} a partir da Eq. (2.14)

$$N_{DJ} = N_G A_{DJ} C_{DJ} C_T 10^{-6} \quad (2.14)$$

Onde:

A_{DJ} : é a área de exposição equivalente da estrutura adjacente, expressa em m^2 calculada pela Eq. 2.15;

C_{DJ} : é o fator de localização da estrutura adjacente mostrado na Tabela 3;

C_T : é o fator tipo de linha seus valores são mostrados na Tabela 4;

2.3.3.1.1 Determinação da Área de Exposição Equivalente A_D ou A_{DJ}

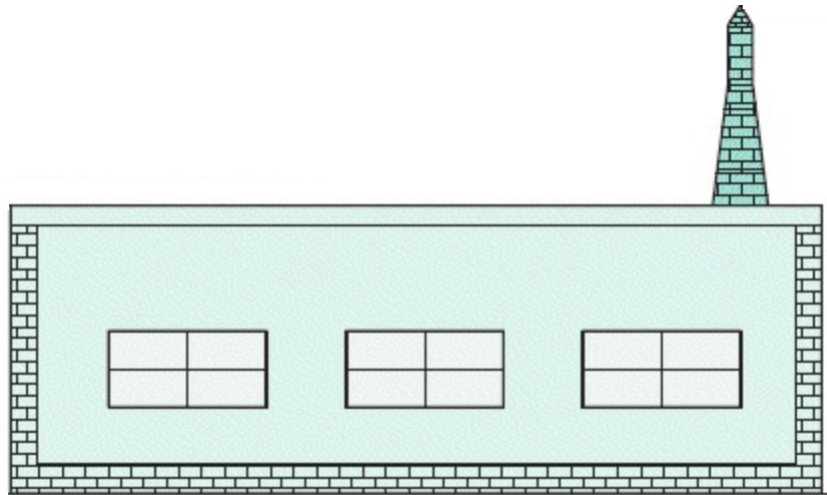
Para uma estrutura isolada em um solo plano, a área de exposição equivalente é dada pela Eq. (2.15), caso, a estrutura possua uma forma complexa como o exemplo

Tabela 4 – Fator tipo de linha C_T .

Instalação	C_T
Linha de energia ou sinal	1
Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)	0,2

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

Figura 2 – Exemplo de uma estrutura complexa.



Fonte: adaptado de (FILHO, 2017).

mostrado na Fig. 2 usa-se a Eq. (2.16). por fim o valor de área equivalente utilizado deve ser o maior valor entre A_D e A'_D .

$$A_D = LW + 2(3H)(L + W) + \pi(3H)^2 \quad (2.15)$$

$$A'_D = \pi(3H_P)^2 \quad (2.16)$$

Onde:

L : é o comprimento da estrutura expressa em m ;

W : é a largura da estrutura em expressa m ;

H : é a altura da estrutura expressa m ;

H_P é a altura da saliência da estrutura expressa em m .

2.3.3.2 Avaliação do Número Médio Anual de Eventos Perigosos N_L Devido a Descargas Atmosféricas na Linha

Calcula-se N_L por meio da Eq. 2.17. N_L depende dos tipo de linhas consideradas, da forma como a linha está instalação e de fatores externos do meio ambiente.

$$N_L = N_G A_L C_I C_E C_T 10^{-6} \quad (2.17)$$

Onde:

A_L : é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha, calculada pela Eq. (2.18) expressa m^2 .

C_I : é o fator de instalação da linha mostrado na Tabela 5;

C_E : é o fator ambiental com valores mostrados da Tabela 6.

$$A_L = 40L_L \quad (2.18)$$

Onde:

L_L : é o comprimento da linha, na seção considerada, expressa em m^2 .

Tabela 5 – A Fator de instalação da linha C_I .

Roteamento	C_I
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento	0,01

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

Tabela 6 – Fator ambiental da linha C_E .

Ambiente	C_E
Rural	1
Suburbano	0,5
Urbano	0,1
Urbano com edifícios mais altos que 20 m	0,01

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

2.3.4 Avaliação da Probabilidade P_X de Danos

A probabilidade P_X depende das características da estrutura, das propriedades das linhas conectadas e dos projetos de proteção presentes na estrutura. Os valores para P_X só podem ser menores que 1, se as medidas de proteção são validas para a estrutura de interesse e estão de acordo com o a NBR 5419/2015.

2.3.4.1 Probabilidade P_A de uma Descarga Atmosférica em uma Estrutura Causar Ferimentos a Seres Vivos Por Meio de Choque Elétrico

P_A mostra qual a probabilidade de seres vivos serem submetidos a choque elétricos a uma descarga atmosférica em uma estrutura. A Equação (2.19) define o valor de P_A .

$$P_A = P_{TA}P_B \quad (2.19)$$

Onde:

P_{TA} : depende das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela 7;

P_B : depende do nível do SPDA projetado. Os valores de P_B são mostrados na Tabela 8.

Tabela 7 – Valores de probabilidade P_{TA} de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos.

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	0,1
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas)	0,01
Equipotencialização efetiva do solo	0,01
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

2.3.4.2 Probabilidade P_U de uma Descarga Atmosférica em uma Linha Causar Ferimentos a Seres Vivos por Choque Elétrico

P_U é a probabilidade de ferimento a seres vivos devido a uma tensão de toque dentro da estrutura causada por uma descarga em uma linha que está conectada na estrutura.

Tabela 8 – Valores de probabilidade P_B dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos.

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_B
Estrutura não protegida por SPDA		1
Estrutura protegida por SPDA IV	IV	0,2
Estrutura protegida por SPDA III	III	0,1
Estrutura protegida por SPDA II	II	0,05
Estrutura protegida por SPDA I	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descida natural		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo componentes naturais, com proteção completa de qualquer instalação na cobertura contra descargas atmosféricas diretas e uma estrutura metálica contínua ou de concreto armado atuando como um subsistema de descidas natural		0,001

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

Essa probabilidade depende da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso do sistema interno e da proteção existente. P_U é calculado por meio da Eq. (2.20).

$$P_U = P_{TU}P_{EB}P_{LD}C_{LD} \quad (2.20)$$

Onde:

P_{TU} : depende das medidas de proteção contra tensões de toque. Os valores de P_{TU} são dados na Tabela 9;

P_{EB} : depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas e do nível de SPDA para o qual o DPS foi dimensionado. A Tabela 10 exibe os valores de P_{EB} , nota-se que, a NOTA 4 indica DPS com características de proteção melhores, com isso, o valor de P_{EB} é reduzido.

P_{LD} : é uma probabilidade que depende das características da linha. A Tabela 12 mostra uma tabela de valores de P_{LD} ;

C_{LD} : é um fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolamento da linha. Valores de C_{LD} são dados na Tabela 11.

Tabela 9 – Valores da probabilidade P_{TU} de uma descarga atmosférica em uma linha que adentre a estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque perigosas

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	0,1
Isolação elétrica	0,01
Não há objeto para tocar	0
Restrições físicas	0

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

Tabela 10 – Valor da probabilidade P_{EB} em função do NP para o qual os DPS foram projetados.

Nível de proteção	P_{EB}
Sem DPS	1
Nível III-IV	0,05
Nível II	0,02
Nível I	0,01
NOTA 4	0,005-0,001

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

2.3.4.3 Probabilidade P_V de uma Descarga Atmosférica em uma Linha Causar Danos Físicos

O valor da probabilidade P_V depende das características das linhas, dos sistemas internos e das medidas de proteção contra surtos existentes. P_V é encontrado pelo produto mostrado na Eq. (2.21).

$$P_V = P_{EB}P_{LD}C_{LD} \quad (2.21)$$

2.3.5 Análise de quantidade de perda L_X

A NBR 5419/2015 fornece os valores médio típicos da perdas L_X , Segundo a norma, os valores de L_X devem ser fixado pelo projetista do SPDA ou proprietário da edificação.

A perda consequente L_X depende da fração de quantidade de pessoas presentes no ambiente, da finalidade da edificação, do serviço prestado, do valor dos bens presentes e das medidas tomadas para minimizar perdas. São definidos diferentes perdas L_X para cada risco, nesse trabalho, devido as características da edificação estudada, foi necessário

Tabela 11 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} dependendo das condições de blindagem aterramento e isolamento

Tipo de linha externa	Conexão na entrada	C_{LD}	C_{LI}
Linha aérea não blindada	Indefinida	1	1
Linha enterrada não blindada	Indefinida	1	1
Linha de energia com neutro multiaterrado	Nenhuma	1	0,2
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,3
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0,1
Linha enterrada blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Linha aérea blindada (energia ou sinal)	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	1	0
Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	Blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização que o equipamento	0	0
(Nenhuma linha externa)	Sem conexões com linhas externas (sistemas independentes)	0	0
Qualquer tipo	Interfaces isolantes de acordo com a ABNT NBR 5419-4	0	0

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

Tabela 12 – Valores da probabilidade P_{LD} dependendo da resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_W do equipamento.

Condições do roteamento, blindagem e interligação	Tensão suportável U_W em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	1	1	1	1	1
$5\Omega/km < R_S \leq 20\Omega/km$	1	1	0,95	0,9	0,8
$1\Omega/km < R_S \leq 5\Omega/km$	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
$R_S < 1\Omega/km$	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

calcular apenas o risco de perda de vidas humana, com isso, buscando-se ser mais sucinto, será mostrado apenas os cálculos pertinentes a perda de vida humana (L_1).

2.3.5.1 Perda de vida humana (L_1)

As Equações (2.22) e (2.23) definem os valores de perda L_X . Nota-se que a perda de vida humana é elevada pelo fator h_z e diminuída pelos fatores r_t , r_p , r_f , o quociente entre de pessoas existentes na zona e o total delas na estrutura e o tempo de horas por ano em que as pessoa estão presentes.

$$L_U = L_A = r_t L_T \frac{n_Z}{n_t} \frac{t_z}{8760} \quad (2.22)$$

$$L_B = L_V = r_p r_f h_z L_F \frac{n_Z}{n_t} \frac{t_z}{8760} \quad (2.23)$$

Onde:

L_T : é número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico (D_1) devido a um evento perigoso. Seus valores são mostrados na Tabela 13;

L_F : é número relativo médio típico de vítimas por danos físicos (D_2) devido a um evento perigoso. Seus valores são mostrados na Tabela 13;

r_t : é um fator de redução da perda de vida humana dependendo do tipo do solo ou piso. Seus valores são mostrados na Tabela 14;

r_p : é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências do incêndio. Seus valores são mostrados na

Tabela 15;

r_f : é um fator de redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou do risco de explosão da estrutura. Seus valores são mostrados na Tabela 16;

h_z : é um fator de aumento da perda devido a danos físicos quando um perigo especial estiver presente. Seus valores são mostrados na Tabela 17;

n_z : é o número de pessoas na zona;

n_t : é o número total de pessoas na estrutura;

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

Tabela 13 – Tipo de perda L_1 : Valores médios típicos de L_T e L_F .

Tipo de Danos	Valor de perda típico	Tipo da estrutura
D_1 ferimentos	L_T	10^{-2}
		Todos os tipos
		Risco de explosão
D_2 danos físicos	L_F	0,1
		Hospital, hotel, escola, edifício cívico
		0,05
		Entretenimento público, igreja, museu
		0,02
		Industrial, comercial
		0,01
		Outros

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

Tabela 14 – Fator de redução r_t em função do tipo da superfície do solo ou piso.

Tipo de superfície	Resistência de contato	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, cerâmica	1 a 10	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	10 a 100	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

2.3.6 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

O SPDA é um sistema capaz interceptar uma descarga atmosférica, conduzi-la a terra de forma segura, reduzir centelhamentos, evitar surtos prejudiciais nas linhas e dispersar a descarga atmosférica na terra.

Tabela 15 – Fator de redução r_p em função das providências tomadas para reduzir 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

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

Tabela 16 – Fator de redução r_f em função do risco de incêndio ou explosão 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 NBR 5419/2015.

Tabela 17 – Fator h_z aumentando a quantidade relativa de perda na presença de 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 1000 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 1000 pessoas)	10

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

2.3.6.1 Classe do SPDA

As características de uma estrutura determinam qual o nível de proteção (NP) adequado e a classe do SPDA que vão de I (maior NP) a IV (menor NP). A classe do SPDA determina a distância mínima entre os condutores de descida, o tamanho da malha e o ângulo de proteção, o raio da esfera rolante, entre outros parâmetros.

2.3.6.2 Sistema Externo de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

2.3.6.2.1 Subsistema de captação

O subsistema de captação pode ser formado por hastes, condutores suspensos e condutores em malha. O subsistema de captação deve ser posicionado seguindo o método do ângulo de proteção, ou o método da esfera rolante, ou o método das malhas. Os métodos da esfera rolante e das malhas são convenientes para todos os casos. O método do ângulo de proteção é adequado para edificações de formato simples.

A Tabela 18 mostra os parâmetros dos 3 métodos de proteção citados, nota-se que, esses parâmetros dependem da seleção da classe do SPDA, que por sua vez, é determinado seguindo o cálculo de gerenciamento de risco mostrado nas seções anteriores.

Tabela 18 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA.

Classe do SPDA	Raio da esfera rolante R (m)	Máximo afastamento dos condutores da malha (m)	Ângulo de proteção α°
I	20	5 x 5	Figura 3
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

2.3.6.2.2 Subsistema de Descida

O subsistema de descida tem o objetivo de prover diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica da descarga atmosférica no menor comprimento possível e a equipotencialização das partes condutoras da estrutura. O espaçamento entre os condutores de descida é mostrado na Tabela 19. Deve-se considerar interligações horizontais entre os condutores de descida em intervalos também de acordo com a Tabela 19.

Tabela 19 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.

Classe do SPDA	Distância (m)
I	20
II	10
III	15
IV	20

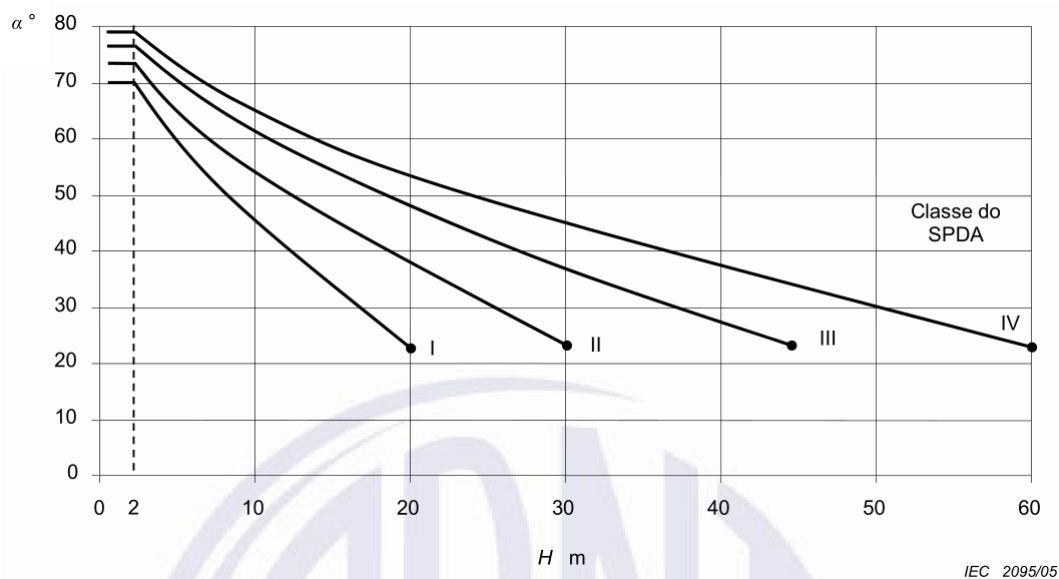
Fonte: adaptado de NBR 5419/2015.

2.3.6.2.3 Subsistema de Aterramento

O subsistema de aterramento tem a função de dispersar a corrente da descarga atmosférica para a terra de forma segura. Nessa etapa deve-se busca uma resistência de aterramento de 10Ω (FILHO, 2017). Para obter um subsistema de aterramento mais eficiente é preferível que todos os eletrodos de aterramento da instalação sejam interconectados por meio do Barramento de Equipotencialização Principal (BEP) e Barramentos de Equipotencialização Locais se necessários (BEL).

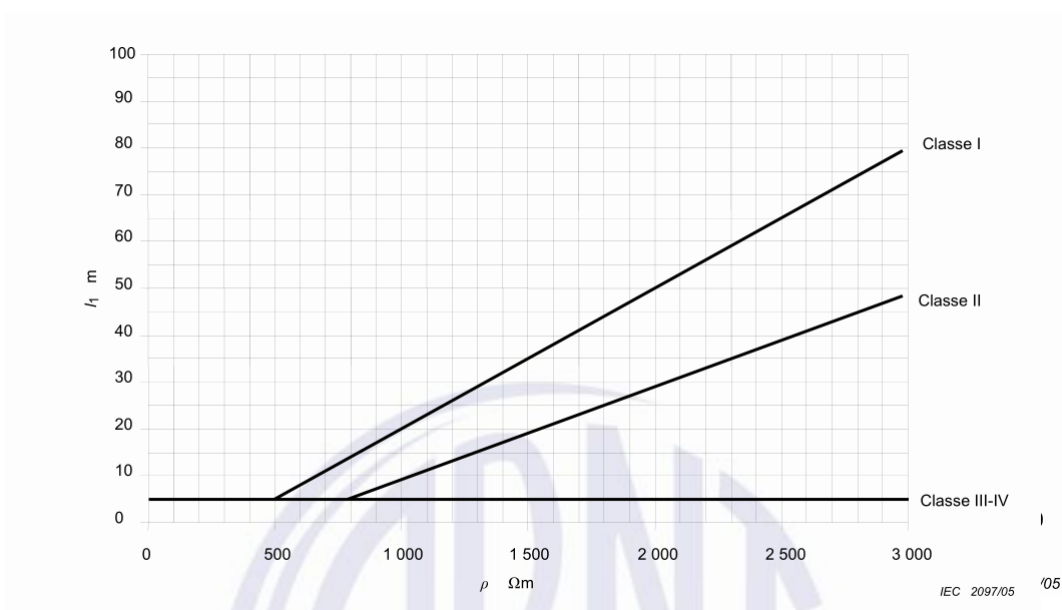
O aterramento deve ser arranjado em malha ou anel o raio médio r_e não pode ser inferior ao valor l_1 que depende da resistividade do solo encontrado na Figura 4. Nota-se que para SPDA classe III e IV r_e é independente.

Figura 3 – Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.



Fonte: NBR 5419/2015.

Figura 4 – Comprimento mínimo l_1 do eletrodo de aterramento de acordo com a classe do SPDA.



Fonte: NBR 5419/2015.

2.3.6.2.4 Equipotencialização

A equipotencialização é necessária para evitar centelhamentos perigosos dentro das edificações nos sistemas internos, nas instalações metálicas e nas linhas externas. A equipotencialização pode ser feita por condutores de ligação, ou por DPS. A equipotencialização dos sistemas internos são obrigatórias.

2.4 Conclusões

Neste capítulo foi apresentado uma explanação sobre as principais normas utilizadas durante o estágio para o desenvolvimento de projetos de instalações elétrica e fiscalização das obras dos campi.

Na segunda parte do capítulo, foi realizado uma exposição sobre o sistema tarifário brasileiro com os principais conceitos básicos, a classificação dos diferentes grupos e subgrupos de consumidores e as modalidades de tarifação horossazonais.

Este capítulo também mostrou os principais conceitos definidos pela NBR 5419/2015 sobre danos, perdas e riscos que uma descarga atmosférica pode causar. Expôs a metodologia de cálculo de gerenciamento de risco e as características dos subsistemas que compõem o SPDA.

3 Atividades Desenvolvidas

Neste capítulo será mostrado as atividades desenvolvidas durante o estágio, as quais foram: análise da tarifação de energia elétrica, projeto de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas e visitas as obras.

3.1 Análise de Tarifação de Energia

Foi realizado a análise de tarifação de doze Unidades Consumidoras (UCs) do IFPB entre elas: a Reitoria, a Pró-Reitoria de Extensão e Cultura (POEXC) e dez campi, todas pertencentes ao subgrupo A4. O objetivo dessa atividade foi calcular qual a demanda ideal a ser contratada e qual a modalidade tarifária escolher de forma a minimizar o gasto com energia elétrica.

Essa atividade foi desenvolvida a partir dos valores de consumo de energia elétrica e de demanda de potência e das tarifas das UCs estudadas de setembro de 2017 a dezembro de 2018. Esses valores foram agrupados em uma planilha gerando um banco de dados como é mostrado na Tabela 20. A partir de uma rotina foi possível calcular quais as demandas ideais a serem contratadas. A rotina utilizada funciona impondo uma demanda contratada variável e calculando-se o custo total do somatório das tarifas de energia nos meses em estudo. a demanda contratada ideal será a que obtiver um menor custo monetário. A planilha desenvolvida permite gerar gráficos dinâmicos, onde é possível observar o perfil e o movimento do consumo de energia, gerando-se as possibilidades de estudar medidas de eficiência no consumo de energia.

O resultado desta atividade é a geração de gráficos permitindo relatórios, a obtenção da demanda ideal e a comparação entre as modalidades tarifárias. Aqui será mostrado o estudo realizado para o campus Cajazeiras. A partir das Figuras 5 e 6 observa-se o perfil das demandas na ponta e fora de ponta medidas, as demandas contratadas e as demandas propostas.

Nestas análises foram consideradas tarifas com impostos para se aproximar do valor monetário prático real. Essas demandas propostas claramente reduzem o valor do custo com energia elétrica, pois a demanda contratada está bem abaixo da medida o que gera multas de demanda de ultrapassagem, isso ocorreu pois a carga do campus aumentou e os contratos não foram atualizados. A demanda ideal tem o objetivo de fazer um balanço entre minimizar a demanda de ultrapassagem e maximizar a demanda contratada. As demandas propostas na ponta e fora de ponta foram 215 *kW* e 202 *kW* respectivamente, na comparação entre as modalidades tarifárias a modalidade horossazonal verde obteve

Tabela 20 – Exemplo da planilha com dados das tarifas de energia elétrica.

PROEXC Tarifa atual A4 azul		set/17	
Descrição	Consumo	Tarifa c/ ICMS	Valor
Consumo em kWh - ponta	718,00	0,51	R\$ 362,87
Consumo em kWh - fora ponta	8.354,00	0,34	R\$ 2.866,59
Demanda de potência media - ponta	19,99	73,53	R\$ 1.469,90
Demanda de potência media - fora ponta	35,88	24,56	R\$ 881,26
Energia reativa excedente em kVarh - fora ponta	308,00	0,32	R\$ 97,60
Demanda de potência não consumida - ponta	18,01	54,66	R\$ 984,50
Demanda de pontência de ultr. - ponta	-	147,06	R\$ 0,00
Demanda de pontência não consumida - fora ponta	14,12	18,26	R\$ 257,82
Demanda de pontência de ultr. - fora de ponta	-	49,12	R\$ 0,00
Adic. B. Vermelha	-	-	R\$ 48,41
Adic. B. Amarela	-	-	R\$ 218,21
TOTAL	-	-	R\$ 6.920,54

Fonte: do autor.

um melhor resulta, uma vez que, a demanda na ponta é menor que a fora de ponta. Utilizando-se os valores das demandas propostos foi recalculado os valores das tarifas e obtido uma economia de R\$ 75.561,42 no período estudado.

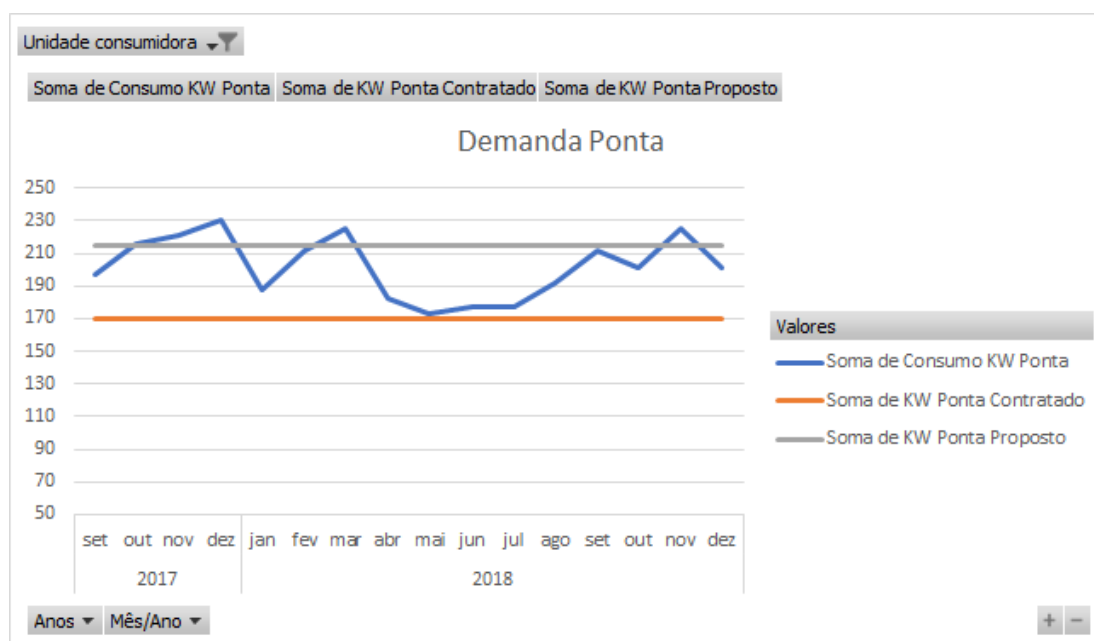
As demais UC's também obtiveram economia gerando um total de aproximadamente R\$ 150.000,00 durante o período estudado.

3.2 SPDA

Esta seção tem por finalidade descrever a avaliação de risco e as perdas causadas por uma descarga atmosférica, onde será mostrado o cálculo do gerenciamento de risco e o projeto de SPDA realizado para o Bloco de Engenharia Civil do campus Cajazeiras.

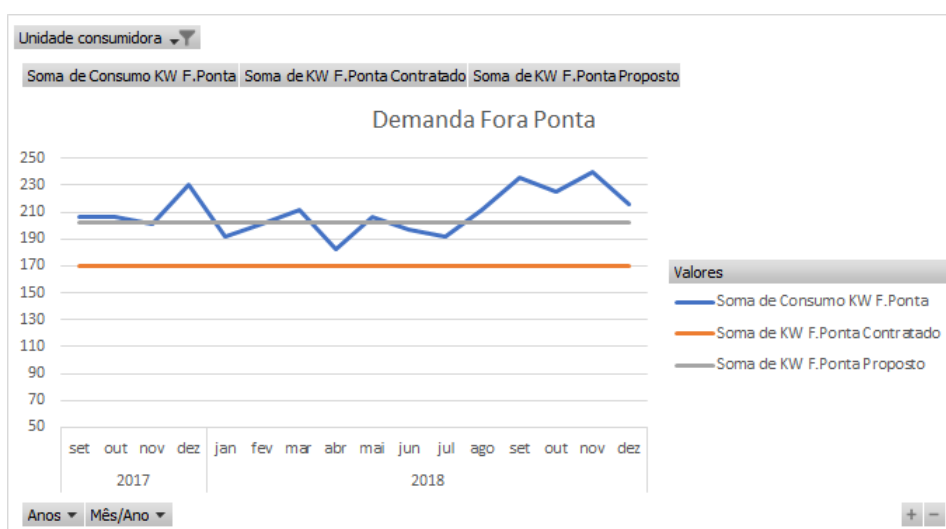
Neste projeto, foram consideradas duas zonas: z_1 a zona externa; e z_2 a zona interna. Foram consideradas um total de 150 pessoas no local e que durante uma tempestade 50

Figura 5 – Demanda ponta medida contratada e proposta do campus Cajazeiras.



Fonte: do autor.

Figura 6 – Demanda fora ponta medida contratada e proposta do campus Cajazeiras.



Fonte: do autor.

peças possam estar na zona externa.

Dados para a edificação e sua vizinhança são mostrados na Tabela 21. Dados para as linhas de energia e sinal que adentram a construção são mostrados nas Tabelas 22 e 23 respectivamente. Nas Tabelas 24 e 25 são mostrados os valores dos fatores validos para a zona z_1 e z_2 respectivamente.

Nas Tabelas 26 e 27 são mostrados os cálculos para a área de exposição equivalente e o risco total da estrutura sofrer dano de perda de vida humana devido aos danos D1

Tabela 21 – Características da estrutura e do meio ambiente.

Parâmetros de entrada	Comentários	Símbolo	Valor
Dimensões da estrutura (m)	—	L, W, H, H_P	62, 17, 9, 0
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C_D	0,5
SPDA	Nenhum	P_B	1
Ligação equipotencial	Nenhuma	P_{EB}	1

Fonte: do autor.

Tabela 22 – Parâmetros da linha de energia.

Parâmetros de entrada	Comentários	Símbolo	Valor
Comprimento (m)	Desconhecido	L_L	1000
Fator de instalação	Enterrado	C_I	0,5
Fator tipo de linha	Linha BT	C_T	1
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	—
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1
		CLI	1
Estrutura adjacente	Nenhuma	L_J, W_J, H_J, H_{PJ}	—
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C_{DJ}	—
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)	Tensão de impulso NBR 5410	U_W	2,5

Fonte: do autor.

Tabela 23 – Parâmetros da linha de sinal.

Parâmetros de entrada	Comentários	Símbolo	Valor
Comprimento (m)	Desconhecido	L_L	1000
Fator de instalação	Enterrado	C_I	0,5
Fator tipo de linha	Linha BT	C_T	1
Fator ambiental	Urbano	C_E	0,1
Blindagem da linha (Ω/km)	Não blindada	R_S	—
Blindagem, aterramento, isolamento	Nenhuma	C_{LD}	1
		CLI	1
Estrutura adjacente	Bloco B	L_J, W_J, H_J, H_{PJ}	24, 66, 12, 13
Fator de localização da estrutura adjacente	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	C_{DJ}	0,5
Tensão suportável dos sistemas internos (kV)	Tensão de impulso NBR 5410	U_W	1,5

Fonte: do autor.

Tabela 24 – Fatores válidos para a zona z_1 .

Parâmetros de entrada	Comentários	Símbolo	Valor
Tipo de piso	Agricultura, concreto	r_t	0,01
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TA}	1
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TU}	1
Risco de incêndio	nenhum	r_f	0
Proteção contra incêndio	Nenhum	r_p	1
L_1 : perda de vida humana	Perigo especial: Nenhum	h_z	1
	D_1 : devido à tensão de toque e de passo	L_T	0,01
Fator para pessoas na zona	$\frac{n_z}{n_t} \frac{t_z}{8760} = \frac{50}{150} \frac{8760}{8760}$	—	0,133

Fonte: do autor.

Tabela 25 – Fatores válidos para a zona z_2 .

Parâmetros de entrada	Comentários	Símbolo	Valor
Tipo de piso	Marmore, cerâmica	r_t	0,001
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TA}	1
Proteção contra choque	Nenhuma	P_{TU}	1
Risco de incêndio	Baixo	r_f	0,001
Proteção contra incêndio	Extintores	r_p	0,5
L1: perda de vida humana	Perigo especial: Nível médio de Pânico	h_z	5
	D_1 : devido à tensão de toque e de passo	L_T	0,01
	D_2 : devido a danos físicos	L_F	0,01
Fator para pessoas na zona	$\frac{n_z}{n_t} \frac{t_z}{8760} = \frac{100}{150} \frac{8760}{8760}$	—	0,86

Fonte: do autor.

(ferimentos a seres vivos) e D2 (danos físicos) nesta ordem.

A partir da Tabela 27 podemos perceber que o risco de perda de vida humana R_1 é maior que o risco tolerável mostrado na Tabela 2, logo a estrutura necessita de medidas de proteção adicionais. Com isso, adicionando-se um DPS classe II na entrada da linha de energia e calculando o risco R_1 novamente, como mostrado na Tabela 28 a estrutura estará dentro do limite do risco tolerável para perda de vida humana.

Tabela 26 – Áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas.

	Símbolo	Resultado (m2)
Estrutura	A_D	7610,22
Linha de energia	$A_{L/P}$	40000
Linha de sinal	$A_{L/T}$	40000
	$A_{DJ/T}$	7610,22

Fonte: do autor.

3.2.1 Projeto de SPDA

Aqui será detalhado o sistema de proteção contra descargas atmosféricas não isolado completo para o bloco de Engenharia Civil do campus Cajazeiras. Na Figura 7 pode-se observar o detalhe da fachada e da planta da cobertura da edificação em estudo. Nota-se que o edifício possui uma longa área horizontal, na qual seria necessário muitos captadores do tipo Franklin, com isso, foi optado pelo método de captação tipo malha.

Tabela 27 – Risco R_1 para a estrutura não protegida.

	Símbolo	Z_1	Z_2	Estrutura
D_1 Ferimento	R_A	$4,83 \cdot 10^{-7}$	$9,66 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$
	$R_U = R_{U/T} + R_{U/P}$	0	$2,95 \cdot 10^{-7}$	$2,95 \cdot 10^{-7}$
D2 danos físicos	R_B	0	$2,41 \cdot 10^{-6}$	$2,41 \cdot 10^{-6}$
	$R_V = R_{V/T} + R_{V/P}$	0	$7,37 \cdot 10^{-6}$	$7,37 \cdot 10^{-6}$
Total	R_1	$4,83 \cdot 10^{-7}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,07 \cdot 10^{-5}$

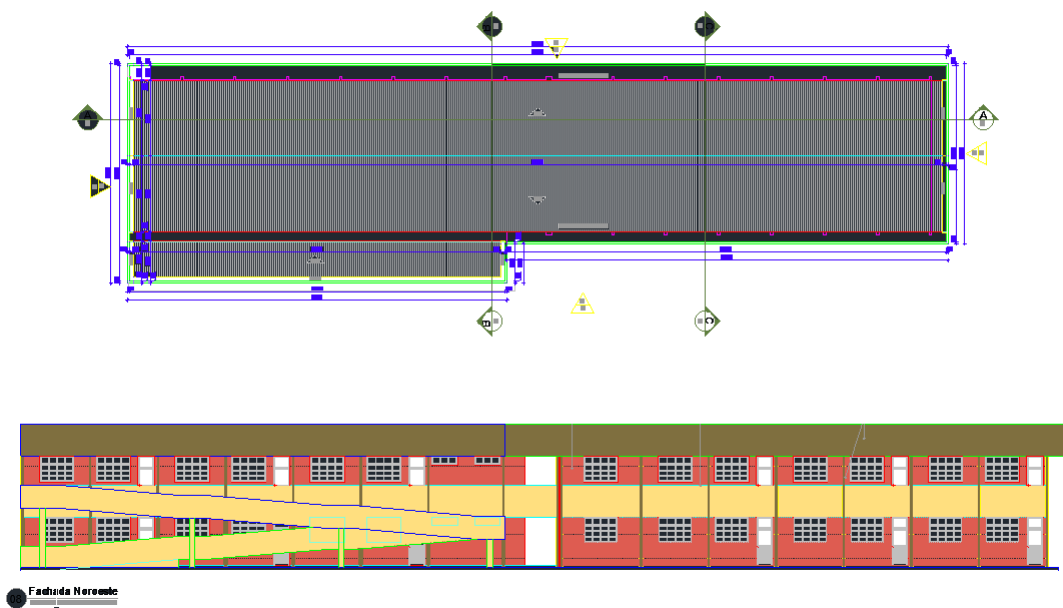
Fonte: do autor.

Tabela 28 – Risco R_1 para a estrutura protegida.

	Símbolo	Z_1	Z_2	Estrutura
D_1 Ferimento	R_A	$4,83 \cdot 10^{-7}$	$9,66 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$
	$R_U = R_{U/T} + R_{U/P}$	0	$5,89 \cdot 10^{-9}$	$5,89 \cdot 10^{-9}$
D2 danos físicos	R_B	0	$4,83 \cdot 10^{-7}$	$4,83 \cdot 10^{-7}$
	$R_V = R_{V/T} + R_{V/P}$	0	$1,47 \cdot 10^{-7}$	$1,47 \cdot 10^{-7}$
Total	R_1	$4,83 \cdot 10^{-7}$	$7,33 \cdot 10^{-7}$	$1,22 \cdot 10^{-6}$

Fonte: do autor.

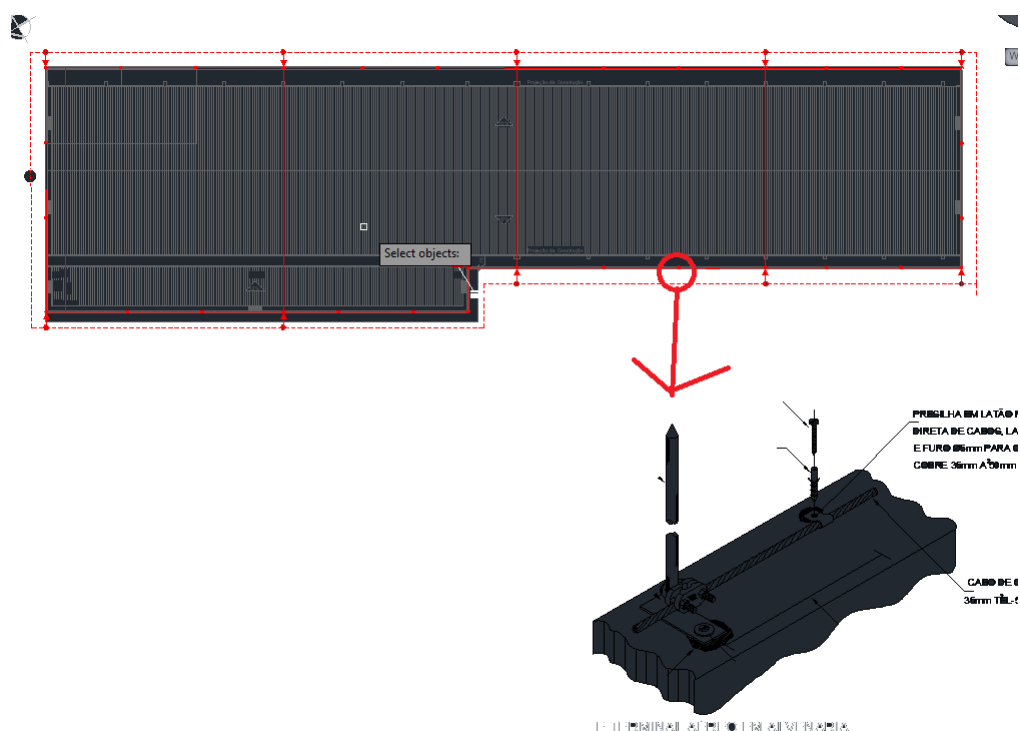
Figura 7 – Detalhe da planta da cobertura e fachada do bloco de Engenharia Civil do campus Cajazeiras do IFPB.



Fonte: do autor.

Este método resume-se na criação de malhas de condutores que protege o volume sob ela. O espaçamento da malha é determinado pela Tabela 18 que depende do nível de proteção solicitado, nesse caso a edificação foi classificada como NP IV, assim, para o subsistema de captação pode-se utilizar uma malha de no máximo $20 \times 20 \text{ m}$. Para a malha se ajustar a construção foi adotado um malha de $15,2 \times 17 \text{ m}$, para essa malha foi utilizado condutor de cobre encordoado de 35 mm^2 . Adicionalmente, buscando-se uma maior vida útil do sistema de captação evitando um contato direto com os condutores da malha, foi acrescentado minicaptores de haste de aço galvanizado a quente com 50 mm^2 , aplicados na extremidade da malha a cada cinco metros, a cada terminação de condutores e em cada canto saliente da edificação. A Figura 8 mostra o detalhe da malha e dos minicaptores e também é mostrado na Figura 8 os detalhes constitutivos do sistema de captação.

Figura 8 – Detalhe do subsistema de captação.

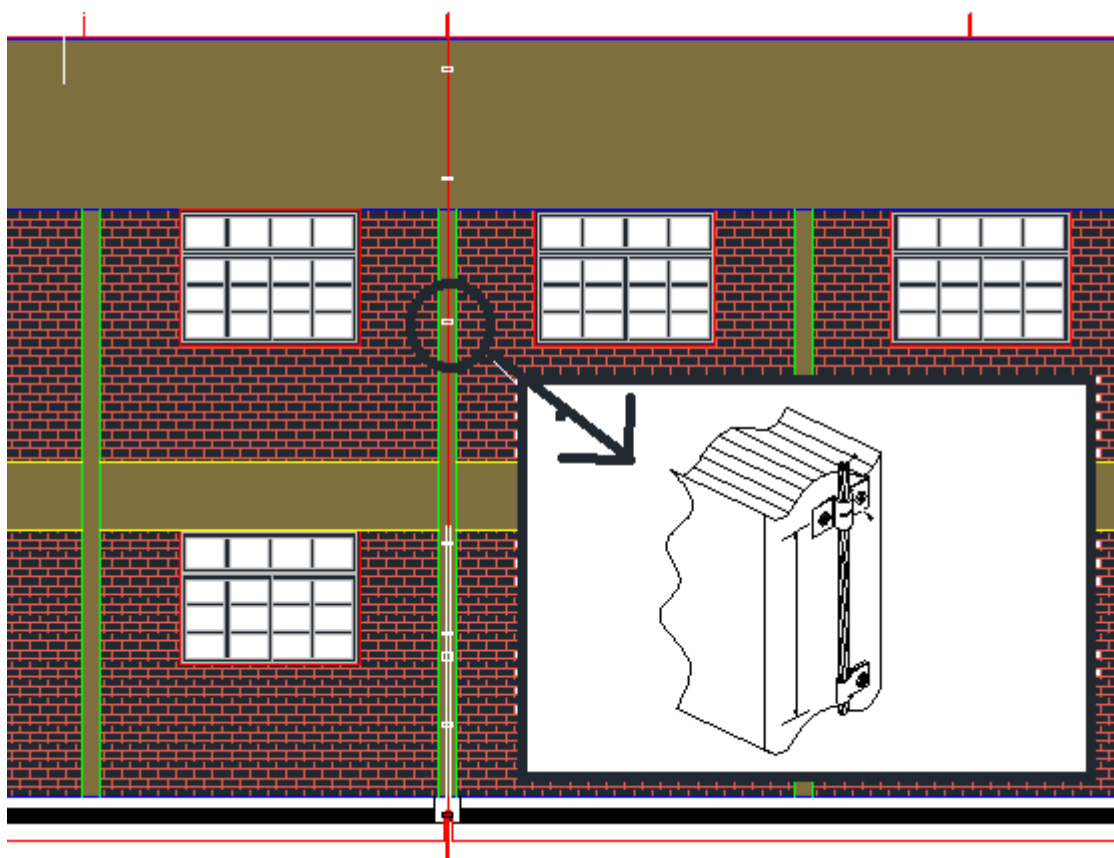


Fonte: do autor.

Para o subsistema de descida, foi acrescentada uma descida a cada terminação de condutor da malha captora e em cada canto saliente da edificação, seguindo a premissa de não ultrapassar o limite de espaçamento imposto pela Tabela 19 totalizando 10 descidas. Na Figura 9 é mostrado o detalhe dos condutores de descida de cobre encordoados com 35 mm^2 , fixados por presilhas colocadas a cada $1,5 \text{ m}$.

Para o subsistema de aterramento foi utilizado condutores em anel de cobre encordoado de 50 mm^2 com afastamento de 1 metro das paredes externas da construção e

Figura 9 – Detalhe do subsistema de descida.



Fonte: do autor.

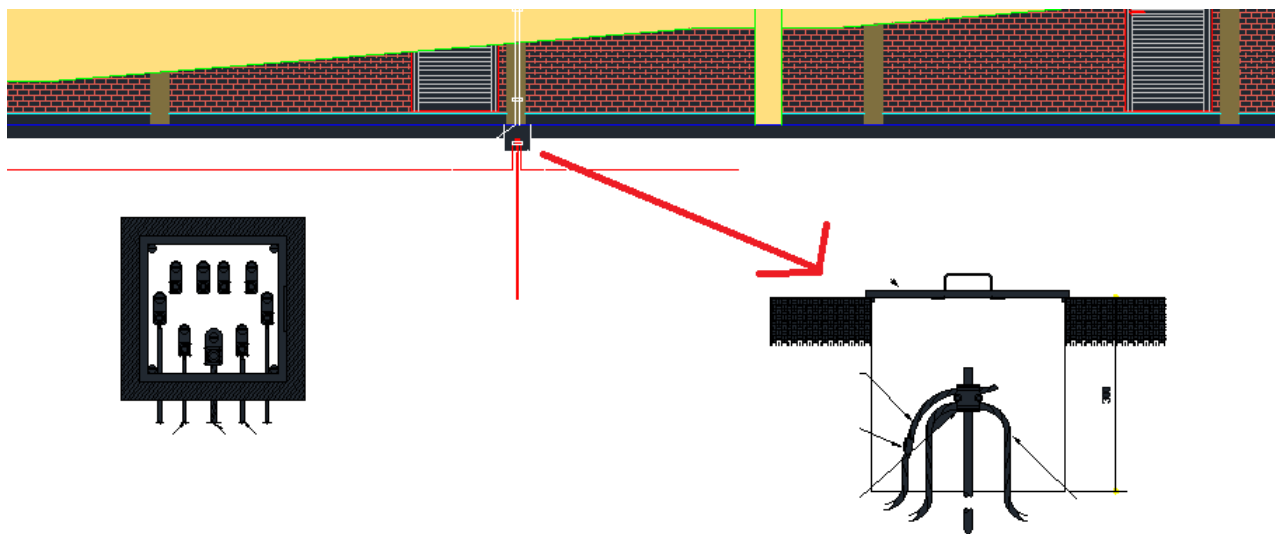
aterrados a 50 cm de profundidade, foram utilizadas hastes de cobre de aterramento de 2,5 m em cada condutor de descida.

Como o SPDA projetado é de classe IV a infraestrutura de aterramento não depende da resistividade do solo. Além disso, foi adicionado um BEP próximo ao quadro geral da edificação com o objetivo de unir o aterramento do quadro geral ao do SPDA. O detalhe dos condutores de aterramento, hastes, BEP, caixa e conexão de inspeção são mostrados na Figura 10.

3.3 Inspeções de Obras

Durante o estágio foram realizadas inúmeras visitas em obras dos campi, principalmente para realização de medições de realização de serviços de instalações elétricas e inspeções, para verificar se a execução do serviço está conforme o projeto e verificar se estão dentro dos requisitos mínimos obrigatórios das normas vigentes. Nesta etapa será mostrado de forma a exemplificar a importância da atuação dos fiscais na identificação e solução de problemas de execução.

Figura 10 – Detalhe do subsistema de aterramento e caixa de inspeção.



Fonte: do autor.

Na vistoria da obra do campus Itabaina, como mostra a Figura 11, foram identificados problemas no SPDA do Bloco Acadêmico, devido a malha captora está com uma descontinuidade, o que pode levar a faiscamentos perigosos e danos físicos ao edifício.

Figura 11 – Malha captora de SPDA com descontinuidade.

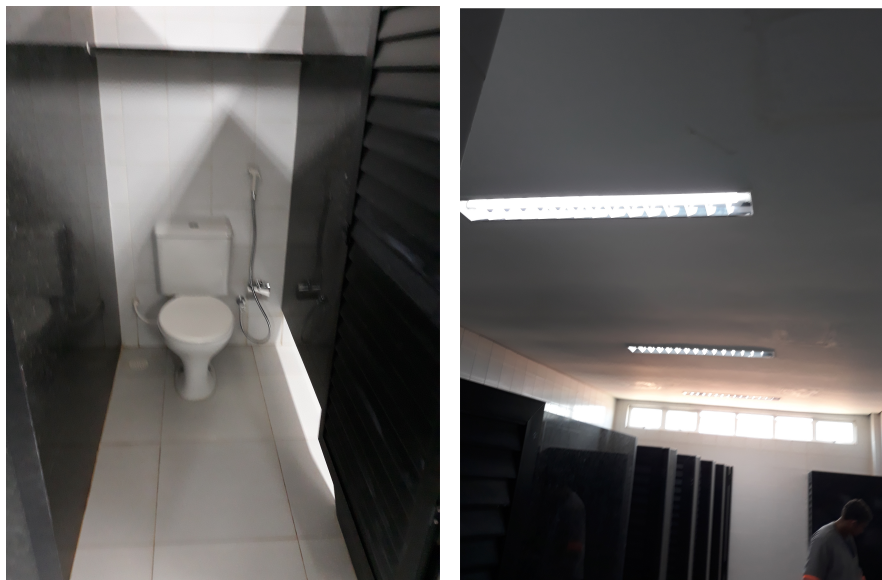


Fonte: do autor.

Ainda no campus Itabaina, vale salientar o erro de má disposição de luminárias no banheiro gerando uma região de sobreamento mostrado na Figura 12, interferindo no fator de uniformidade da iluminação, gerando desconforto.

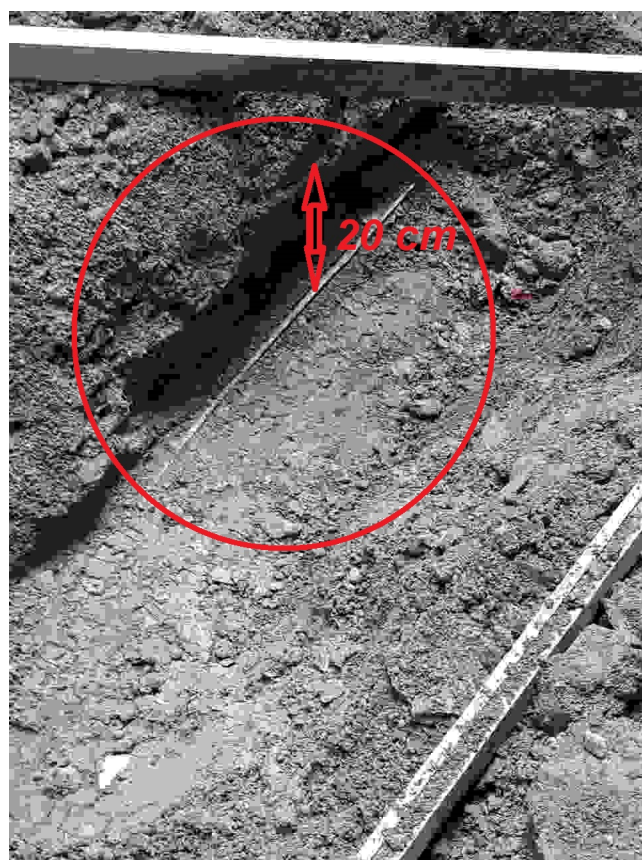
outros dois erros de execução de serviços foi encontrado na Unidade Acadêmica de Gestão e Negócios (UAG) no campus João Pessoa, onde o anel do subsistema de

Figura 12 – Sombramento gerado no banheiro devido a rotação de luminárias.



Fonte: do autor.

Figura 13 – Eletrodo de aterramento com baixa profundidade.



Fonte: do autor.

aterramento do SPDA, foi colocada em uma vala de apenas 20 *cm* de profundidade como pode-se notar na Figura 13. Sendo que a profundidade mínima deve ser de 50 *cm* segundo

exigência a NBR 5419:2015. Essa situação pode aumentar a probabilidade de risco de perda de vida humana devido a choque por tensões de passo. O segundo erro foi uma má conexão de condutores do ramal de alimentação do quadro geral como é mostrado na Figura 14, onde é mostrado parte dos filamentos do cabo fora do conector, o que pode gerar um ponto quente diminuindo a vida útil do condutor.

Figura 14 – Má conexão de cabos do ramal de alimentação.



Fonte: do autor.

Todos esses erros de execução relatados foram corrigidos e solucionados, para garantir qualidade, durabilidade e segurança das instalações.

3.4 Conclusões

Neste capítulo foram descritas as principais atividades desenvolvidas durante o estágio. Com a análise das tarifas de energia elétrica, foi possível verificar os contratos de demanda das UCs do IFPB, selecionar qual a melhor modalidade tarifária para as UCs e qual a demanda ideal a ser contratada de forma a obter economia monetária. Além disso, por meio dos dados obtidos foi possível gerar gráficos de consumo de energia elétrica e demandas de potência que podem ser utilizados em estudos de eficiência energética. Neste capítulo foi mostrado o resultado da análise do IFPB campus Cajazeiras de forma a exemplificar a metodologia apresentada.

Este capítulo mostrou, os cálculos de gerenciamento de risco de uma estrutura ser atingida por uma descarga atmosférica e causar perdas, mostrou também, as principais características de aspectos construtivos de um SPDA externo aplicado a edificação em estudo. A metodologia utilizada no gerenciamento de risco é obtida na NBR 5419/2015. O gerenciamento de risco foi aplicado ao bloco de Engenharia Civil no IFPB campus Cajazeiras, onde observou-se que não é necessário um SPDA completo para que o limite do risco tolerável R_T seja satisfeito, entre tanto, devido a edificação encontrar-se em uma zona onde a incidência de descargas atmosféricas é relativamente alta, foi proposto um projeto de SPDA classe IV buscando aumentar ainda mais segurança da edificação em estudo.

Este capítulo também mostrou a importância da fiscalização nas obras dos campi, por meio de quatro exemplos de problemas identificados e solucionados, que poderiam comprometer a segurança e vida útil das instalações.

4 Conclusão

O estágio supervisionado foi uma experiência única, pois proporcionou aprendizado tanto no contexto profissional como no pessoal. Tendo sido dadas oportunidades ao aluno de cooperar com atividades que adicionaram para o progresso de conhecimentos e habilidades, nas quais incluem não só apenas questões técnicas, mas também competências sociais, éticas e sensibilidade para diálogos e relacionamentos interpessoais importantes na construção de um engenheiro preparando-o para assumir a liderança no mercado de trabalho.

O êxito nas atividades ofertadas ao estagiário firmou ainda mais o perfil de engenheiro de projetos, sem afastá-lo da aspiração de trabalhar com pesquisa e desenvolvimento que tanto o entusiasmou, enquanto estudante de graduação de Engenharia Elétrica.

Os conhecimentos obtidos na disciplina de Instalações Elétricas existente na grade curricular como disciplina obrigatória na ênfase de sistemas de potência do curso de Engenharia Elétrica foram de fundamental importância para o êxito nas atividades do estágio.

Houveram aprendizados com o cronograma e as metas a serem alcançadas pelo setor, como forma de iniciar o futuro engenheiro no ambiente corporativo. O estágio proporcionou uma nova perspectiva das habilidades do engenheiro eletricitista.

Referências

ANEEL. - *Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 414, de 9 de Setembro de 2010.* Citado na página 12.

FILHO, J. M. *Instalações Elétricas Industriais.* 9. ed. The address: Grupo Editorial Nacional (GEN), 2017. v. 4. (10, v. 4). Citado 4 vezes nas páginas 14, 15, 22 e 32.

INPE. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.* 2019. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>>. Citado na página 20.

NBR5419. *Proteção Contra Descargas Atmosféricas.* 2015. Citado na página 14.