

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROPOSTA DE PROJETO DE GRADUAÇÃO**



THIAGO BOTELHO COUTINHO

**DIAGNÓSTICO E ADEQUAÇÃO DO SPDA E DAS
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA PRIMEIRA IGREJA
BATISTA EM GOIABEIRAS - VITÓRIA/ES**

**VITÓRIA
2021**

THIAGO BOTELHO COUTINHO

DIAGNÓSTICO E ADEQUAÇÃO DO SPDA E DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA PRIMEIRA IGREJA BATISTA EM GOIABEIRAS - VITÓRIA/ES

Parte manuscrita da Proposta de Projeto de Graduação do aluno **Thiago Botelho Coutinho**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para aprovação na disciplina ELE08552 – Projeto de Graduação I.

Profª. Dra. Carla C.M. Cunha
Coordenadora de Projeto de Graduação

Prof. Dr. Hélio Marcos André Antunes
Orientador

Prof. Dra. Tiara Rodrigues Smarssaro de
Freitas
Coorientadora

Thiago Botelho Coutinho
Aluno

VITÓRIA
2021

RESUMO

As temáticas deste trabalho são de suma importância, pois descargas atmosféricas causam diversos transtornos, seja por destruição, incêndio ou por surtos de tensão provocada pela onda eletromagnética na queda do raio. Paralelo a isso, existem as manobras de linha nas redes de distribuição, que podem vir a gerar surtos e causar queima dos equipamentos elétricos. Todos esses eventos têm em comum as ocorrências imprevisíveis. Muitas obras optam primeiro pela instalação, depois pelo projeto (quando há), e o resultado é a ineficiência na proteção do sistema em ocorrência de uma das eventualidades descritas anteriormente. Objetiva-se, assim, neste estudo, a proteção contra descargas elétricas da Primeira Igreja Batista de Goiabeiras, localizada na Rua Adalfredo Wanick, 20, Goiabeiras, Vitória/ES, fundada em 07/09/1968, e a proteção das cargas elétricas da instalação usadas no templo, como os sistemas de sonorização, ar-condicionado e outros, contra surtos na rede. Para o desenvolvimento deste trabalho, apresenta-se uma adequação dos projetos de sistema de proteção contra descarga atmosférica, aterramento elétrico e dos cabos alimentadores entre o quadro geral de baixa tensão e os quadros de disjuntores que, hoje, encontram-se inadequados. Para a coleta de dados, será feito um levantamento das condições atuais (medições de continuidade, resistência de aterramento elétrico, integridade construtiva) em que se encontram os sistemas destacados e as normas vigentes. Após a conclusão do estudo, pretende-se verificar se é passível uma adequação ou a confecção de um novo projeto para proteção contra descarga atmosférica, aterramento elétrico e dos cabos alimentadores entre quadro geral de baixa tensão e os quadros de disjuntores.

Palavras-chave: Descargas atmosféricas. Surto de tensão. Proteção das cargas elétricas. Aterramento elétrico. Cabos alimentadores.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Captores instalados com resto de obras e alinhados manualmente.....	8
Figura 2 – Vista da caixa de inspeção.....	10
Figura 3 – Barramento de derivação presente atualmente	10
Figura 4 – Processo de formação dos raios	15
Figura 5 – Forma de onda de corrente de uma descarga completa.....	15
Figura 6 – Conexões entre as partes da NBR 5419 (ABNT)	18
Figura 7 – Danos e perdas relevantes para uma estrutura relacionados à diferentes pontos de impacto	19
Figura 8 – Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam em diferentes tipos de danos	21
Figura 9 – Subsistemas de captação, descida e aterramento elétrico.....	24
Figura 10 – Teste de continuidade das ferragens.....	26
Figura 11 – Seção mínima dos condutores.....	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das descargas atmosféricas	16
Quadro 2 – Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA.....	22
Quadro 3 – Cronograma de Execução das Atividades Previstas	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ELAT/INPE	Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
IMPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
QGBT	Quadro geral de baixa tensão
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	JUSTIFICATIVA	12
3	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICO	13
3.1	Objetivo Geral	13
3.2	Objetivos Específicos	13
4	REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1	Descargas Atmosféricas	14
4.2	Proteção contra descargas atmosféricas	17
4.3	Princípios gerais e gerenciamento de risco	18
4.4	Danos físicos à estrutura e perigos à vida	21
4.5	Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura	24
4.6	Teste de Continuidade – Verificação atual do SPDA	25
4.7	Sistemas de Aterramento Elétrico	26
4.7.1	Tipos de aterramento elétrico	27
4.8	Adequação do QGBT aos quadros de Disjuntores	27
4.8.1	Dimensionamento de condutores elétricos	27
5	METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	30
6	CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	31
6.1	Lista e descrição das Atividades Previstas	31
7	ALOCAÇÃO DE RECURSOS	32
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

Certos fenômenos naturais ainda não são possíveis de serem tratados ou previstos o local de sua ocorrência, dentre esses, as descargas elétricas vêm ganhando notoriedade pelo elevado índice.

Conforme cita Case Editorial (2017), a elevada extensão territorial do Brasil e seu clima peculiar em alguns lugares, colocaram-no como um dos países com maior incidência de descarga atmosférica, sendo mais preciso, 78 milhões de raios todo anos, a cidade de Vitória possui uma densidade de descarga de 0,68 km²/ano, segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (ELAT/INPE). No dia 08 de março de 2021, o Estado do Espírito Santo recebeu 67.761 raios, que resultaram em diversos transtornos e um morto, conforme reportagem no jornal Folha Vitória (2021, n.p.).

Existem dois tipos de descargas atmosféricas (CREDER, 2016):

- Direta: incidem diretamente sobre as edificações, linhas de transmissão de energia ou qualquer outra instalação exposta ao tempo;
- Indireta: surtos induzidos (por acoplamento indutivo ou capacitivo) e injetados (por acoplamento resistivo, via aterramento elétrico).

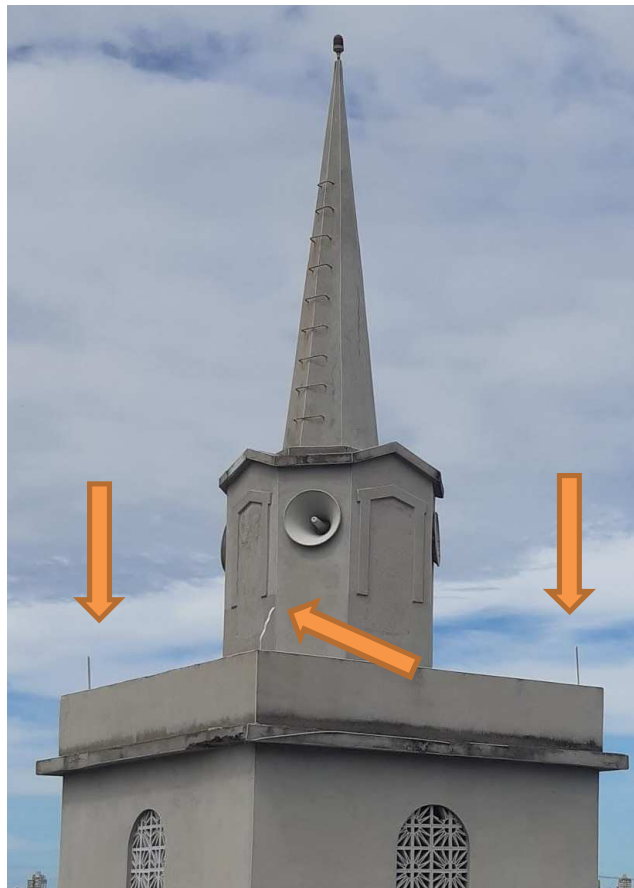
De acordo com a ABNT NBR 5419-1:2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), os efeitos da descarga atmosférica, em templos religiosos, geram perdas de patrimônio cultural insubstituível. Materialmente, há risco de fogo e/ou explosão devido ao impacto causado pela descarga atmosférica na estrutura e risco de danos aos equipamentos eletroeletrônicos devidos aos surtos de sobretensões provenientes de descargas adjacentes à estrutura ou nas linhas de transmissão e sinais telefônicos. Já para os seres vivos, existe o risco de choque elétrico devido às tensões de toque e de passo.

Para solucionar este problema utiliza-se o mesmo sistema “primitivo” de captação de raio do século XVIII, o para-raios, aparelhos simples e eficazes (CAVALIN; CERVELIN, 2006).

É fundamental que o sistema seja corretamente dimensionado para que se cumpra o seu papel, a saber, interceptar raios e conduzi-los à terra. Colocar captadores em qualquer posição não indica

que há um sistema de proteção contra descarga atmosférica (SPDA), é necessário que estes captosres sejam alocados de forma a garantir que toda a estrutura esteja dentro da zona de proteção do sistema, o que não acontece hoje na igreja, conforme destacado em seta na Figura 1, o que existe é uma barra de alumínio que atrai o raio, deixando a parte mais alta da igreja fora da zona de proteção, gerando riscos de acidentes, tais como incêndios e explosões, caso aconteça uma descarga atmosférica direta sobre a estrutura arquitetônica

Figura 1 – Captosres instalados com resto de obras e alinhados manualmente



Fonte: Produção do próprio autor.

A descarga atmosférica decorre da formação da radiação eletromagnética induzindo sobretensões às linhas de energia elétrica (CAVALIN; CERVELIN, 2006). Outros elementos geradores de surto de tensão são as manobras que ocorrem nas linhas de transmissão e distribuição, sendo que estas não dependem da intensidade da corrente seccionada, mas do seccionamento brusco decorrente em um circuito de elevada indutância (COTRIM, 2009).

O único sistema capaz de combater esse problema é o aterramento elétrico e sua finalidade é proteger tanto a instalação quanto seus usuários através de uma ligação à terra (CAVALIN; CERVELIN, 2006).

Basicamente, são considerados dois tipos de aterramento elétrico (CREDER, 2016):

- aterramento elétrico funcional: ligação à terra de um dos condutores do sistema (geralmente o neutro) e está relacionado ao funcionamento correto, seguro e confiável da instalação;
- aterramento elétrico de proteção: que consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação elétrica, visando a proteção contra os choques elétricos por contato direto e contra tesões induzidos provenientes de curtos-circuitos ou descargas atmosféricas.

Conforme orientação na ABNT NBR 5410:2004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) qualquer instalação, deve prever um terminal ou barra de aterramento principal (BEP), estando nele ligados:

- o aterramento neutro e os condutores de proteção da rede de distribuição de energia;
- o aterramento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas;
- os aterramentos elétricos das entradas de sinais e o “plano terra” para o aterramento elétrico de instalações contendo equipamentos eletrônicos (estações de telecomunicações, sistemas de controle de processo e etc.);
- o aterramento elétrico de estruturas metálicas diversas (quadro de cargas, *racks*, painéis e etc.);

O único aterramento elétrico que o templo em estudo dispõe é o do SPDA (Figura 2), composto por 7 descidas individuais, mostrando-se um processo ineficiente, pois a interação dos aterramentos elétricos proporciona a equipotencialização de massas, com a unificação das referências de terra e a redução da resistência de aterramento elétrico da instalação em função da maior área da malha (CREDER, 2016).

Figura 2 – Vista da caixa de inspeção

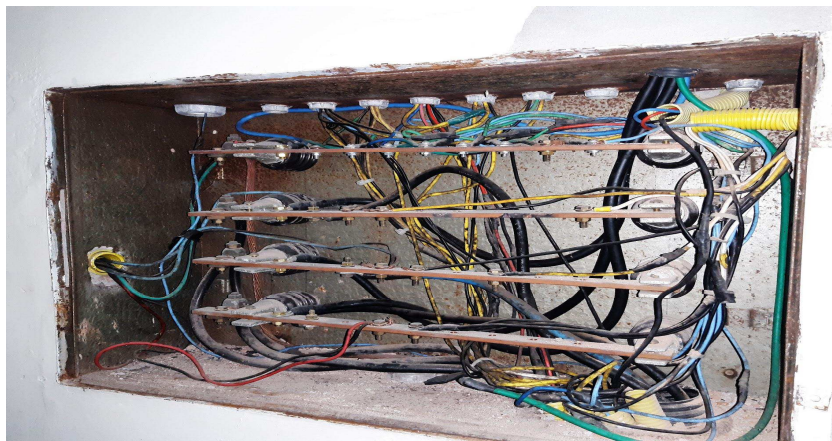


Fonte: Produção do próprio autor.

Assim como o sistema de SPDA, as instalações elétricas necessitam de aterramento elétrico, muitos equipamentos apresentam uma eletrônica avançada, gerando muito resíduo elétrico que devem ser direcionados ao aterramento elétrico. Para que haja uma boa comunicação entre a carga elétrica e o aterramento elétrico, o dimensionamento dos cabos entre os quadros de disjuntores e o quadro geral de baixa tensão (QGBT) deverá ser corretamente empregado.

O sistema atual de derivação de energia é constituído por dois conjuntos, sendo esses formados por quatro barras de cobre, visto na Figura 3, pondo em risco a integridade do sistema por possuir condutores mal dimensionado e conexão inadequada (surgimento de ponto quente). Além de implicar na operação inadequada da carga, representa um elevado risco de incêndio para o patrimônio (MAMEDE FILHO, 2010).

Figura 3 – Barramento de derivação presente atualmente



Fonte: Produção do próprio autor.

Assim, a proposta deste projeto de graduação é a correção dos erros sumariamente apresentados, visando obter uma instalação elétrica com desempenho satisfatório e seguro contra riscos de acidentes aos seus usuários e edificação. (MAMEDE FILHO, 2010).

2 JUSTIFICATIVA

Como ilustrado na Figura 1, há um risco de incidência de descarga elétrica na “torre” do templo, pois este se encontra acima dos captosres do sistema SPDA. Dessa forma, existe o risco de explosão e desprendimento de material por conta da incidência do raio. Além disto, tem-se os danos aos equipamentos (ou cargas) presentes nas instalações elétricas, como iluminação e equipamentos eletrônicos. Neste local, o efeito do barulho e desligamento das luzes, na incidência do raio, pode gerar pânico, provocando desespero por conta da evacuação do local, bem como falha do sistema de alarme contra incêndio.

Outro ponto preocupante, conforme apresentado na Figura 3, refere-se às diretrizes básicas, recomendada pela ABNT NBR 5410:2004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), que garante a segurança de pessoas e de bens que não estão sendo atendidos. Também é possível observar que não existem disjuntores para proteção e divisão dos circuitos alimentadores, sendo todos conectados diretamente no barramento de distribuição, não existindo coordenação e seletividade da proteção, ou seja, na ocorrência de qualquer falta no sistema, todos os circuitos serão afetados.

Assim, este trabalho é fundamental, pois irá nortear os responsáveis pela instituição na readequação que deve ser realizada nas instalações de modo a garantir a segurança dos membros e dos bens da igreja.

3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICO

3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um projeto de adequação do SPDA e das Instalações elétricas da Primeira Igreja Batista de Goiabeiras localizado em Vitória/ES, baseando-se nas normas vigentes, de modo a prover segurança aos que utilizam o espaço bem como a proteção dos bens e arquitetônico da igreja.

3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, os seguintes objetivos específicos deverão ser atendidos:

- a) Adequar o sistema de SPDA;
- b) Como não há projeto de aterramento, será feito um adequado ao caso estudado;
- c) Validar as dimensões das conexões presente nos quadros elétricos (presente em cada pavimento) ao QGBT (que será criado no térreo), de modo que todos atendam as normas vigentes;

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Descargas atmosféricas

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), as descargas atmosféricas são descargas elétricas de grande extensão e de grande intensidade, que ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas concentradas na atmosfera. A descarga atmosférica tem início quando o campo elétrico, ocasionado pelo acúmulo de cargas concentradas na atmosfera, rompe a rigidez dielétrica do ar, fazendo com que haja um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas, ocasionando a descarga atmosférica popularmente conhecida como “raio” (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2019).

Hoje, sabe-se que esse acúmulo de cargas elétricas na atmosfera acontece dentro das nuvens e é causado pela fricção entre as partículas de água, provocada pelos ventos ascendentes de forte intensidade. O valor da diferença de potencial, para o qual a rigidez dielétrica do ar é rompida, é de aproximadamente 1 kV/mm (MAMEDE FILHO, 2010).

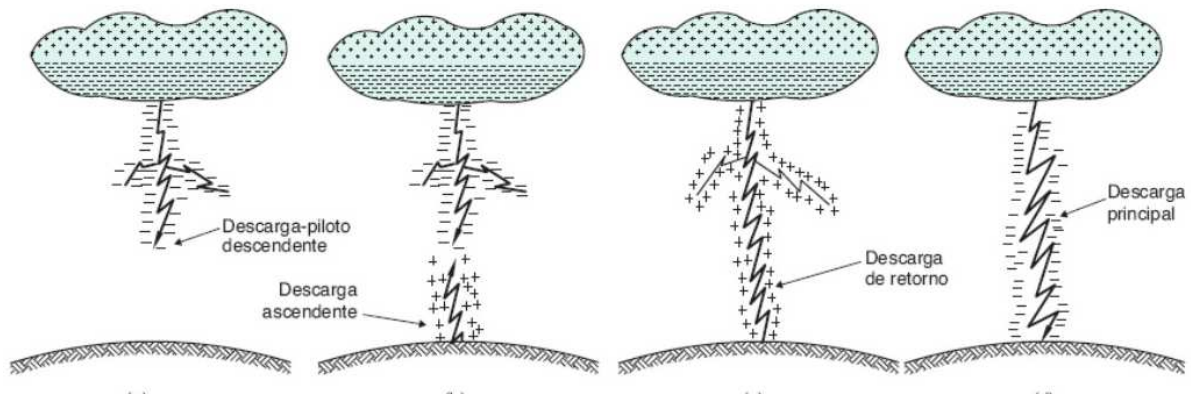
As descargas atmosféricas podem ser divididas em dois subgrupos: descargas negativas e descargas positivas. As descargas negativas acontecem de uma região carregada negativamente dentro da nuvem para o solo, ou seja, elétrons são transferidos da nuvem para o solo, e englobam cerca de 90% de todas as descargas atmosféricas. Já as descargas positivas acontecem de uma região carregada positivamente dentro da nuvem para o solo, ou seja, elétrons são transferidos do solo para a nuvem, e compõem 10% das descargas atmosféricas (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2019).

Assim, um raio é formado por múltiplas descargas que se sucedem em intervalos de tempo muito curtos, podendo ser classificados em etapas. A primeira destas etapas inicia-se com fracas descargas na região de cargas negativas dentro da nuvem, no caso das descargas negativas, provocando um período de quebra de rigidez preliminar que dá início ao chamado líder escalonado ou descarga piloto descendente. A descarga piloto segue um caminho tortuoso e em etapas, propagando-se para fora da nuvem e em direção ao solo com uma velocidade de cerca de 400.000 km/h, buscando o caminho mais fácil para a formação do canal do relâmpago. Quando a descarga piloto se aproxima do solo, as cargas elétricas no canal produzem um intenso

campo elétrico, da ordem de 100 milhões de volts, fazendo, assim, com que a rigidez dielétrica do ar seja rompida em um ou mais pontos, o que implica em líderes conectantes positivos, ou descargas ascendentes, que saem do solo e propagam-se de forma similar ao líder escalonado. Quando a descarga piloto encontra as descargas ascendentes, as cargas armazenadas no canal começam a mover-se em direção ao solo, acompanhadas de uma intensa descarga que se propaga ao longo do canal com uma velocidade de 40000 km/h. Esta descarga é denominada de descarga de retorno e produz a maior parte da luz visível (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2019). Se a descarga de retorno for o último acontecimento, o raio é chamado de raio simples, porém, na maioria dos casos, após uma pausa de aproximadamente 500 ms, após a primeira descarga de retorno, acontece uma nova descarga, chamada de descarga de retorno subsequente, e essa descarga atrai as cargas negativas localizadas na nuvem para o canal já ionizado, ocasionando o que é chamado de líder contínuo ou descarga principal.

Quando o líder contínuo se aproxima do solo, ele se conecta com uma nova descarga ascendente, reproduzindo o processo e iniciando o que é denominado de “raios múltiplos”. A Figura 4 ilustra o processo de formação dos raios descrito anteriormente.

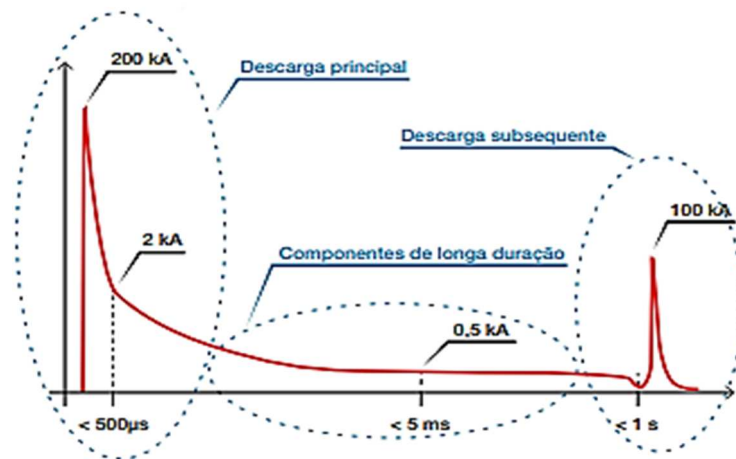
Figura 4 – Processo de formação dos raios



Fonte: Mamede Filho (2010, p. 23).

A Figura 5, a seguir, ilustra a forma de onda da corrente de descarga completa, que é constituída de uma descarga principal; trata-se de uma etapa de longa duração que inclui a corrente de descarga piloto e a corrente contínua, e uma descarga subsequente, com os respectivos tempos e valores de correntes.

Figura 5 – Forma de onda de corrente de uma descarga completa



Fonte: Paulino e outros (2016, p. 15).

Uma descarga atmosférica pode atingir elevados valores de tensão entre a nuvem e o solo, no caso de descargas negativas, ocasionando um fluxo de corrente de alta intensidade e curta duração. Segundo Kindermann (2002), a diferença de potencial dependerá principalmente da intensidade das cargas elétricas acumuladas no interior da nuvem e da impedância existente entre o canal de percurso da descarga. O Quadro 1 apresenta as principais características das descargas atmosféricas.

Quadro 1 – Características das descargas atmosféricas

Parâmetros	Valores	Unidade
Corrente	2.000 a 200.000	A
Tensão	100 a 1.000.000	kV
Duração	70 a 200	μs
Carga elétrica da nuvem	20 a 50	C
Potência liberada	1.000 a 8.000 milhões	kW
Energia	4 a 10	kWh
Tempo de crista	1,2	μs
Tempo de meia cauda	50	μs

Fonte: Kindermann (2002, p. 24).

Devido aos efeitos nocivos que as descargas atmosféricas podem ocasionar, tanto em estruturas físicas quanto em seres vivos, torna-se necessário adotar medidas de proteção contra esses eventos.

4.2 Proteção contra descargas atmosféricas

A Proteção contra Descargas Atmosféricas (PDA) é um conjunto de medidas que visa mitigar os efeitos causados pelas descargas atmosféricas. Segundo a ABNT NBR 5419-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. ix):

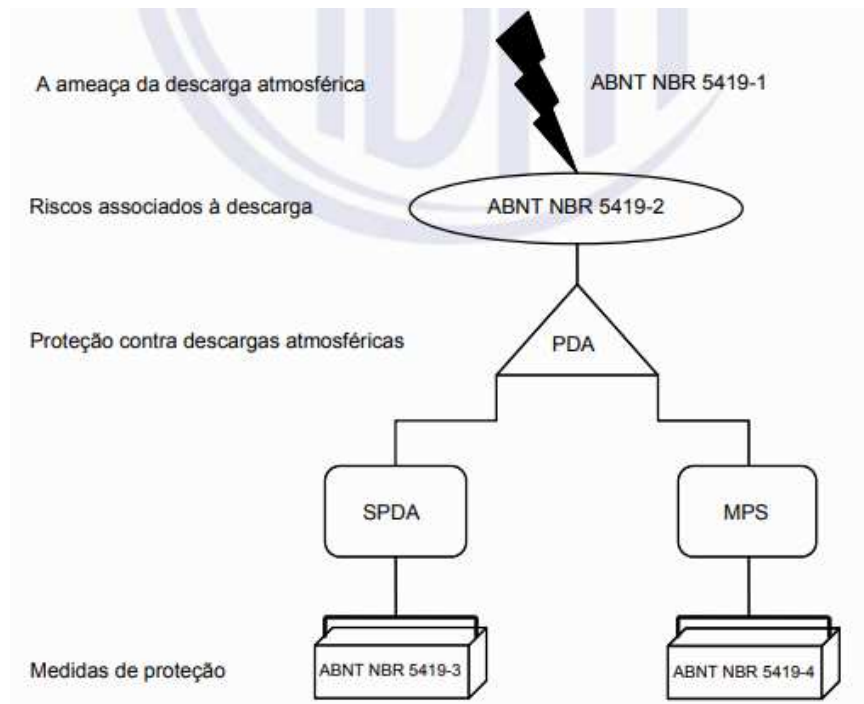
não há dispositivos ou métodos capazes de modificar os fenômenos climáticos naturais a ponto de se prevenir a ocorrência de descargas atmosféricas. As descargas atmosféricas que atingem estruturas (ou linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram nas estruturas) ou que atingem a terra em suas proximidades são perigosas às pessoas, às próprias estruturas, seus conteúdos e instalações. Portanto, medidas de proteção contra descargas atmosféricas devem ser consideradas.

Assim, no Brasil, a NBR 5419-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) é a norma responsável pela proteção contra descargas atmosféricas. A norma é dividida em 4 partes que compõem todo o PDA. Essas partes são:

- Parte 01 – Princípios gerais;
- Parte 02 – Gerenciamento de risco;
- Parte 03 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida;
- Parte 04 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

A NBR 5419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) é dividida em: parte 01, que se refere, basicamente, à ameaça da descarga atmosférica e a primeira análise e orientação dos princípios de proteção que devem ser adotados para mitigar essas ameaças. Parte 02, que estabelece os princípios do Gerenciamento de Risco referente aos riscos associados às descargas. Parte 03, que se refere às medidas de proteção para reduzir danos físicos e riscos à vida dentro de uma estrutura edificada. E por último, parte 04, que diz respeito às medidas de proteção para reduzir as falhas de sistemas elétricos e eletrônicos de uma estrutura edificada.

Figura 6 – Conexões entre as partes da NBR 5419 (ABNT)



Fonte: NBR 5419-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

4.3 Princípios gerais e gerenciamento de risco

A parte 01 da NBR 5419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) estabelece os requisitos mínimos para a determinação da proteção contra descargas atmosféricas e fornece também os subsídios para a elaboração do projeto desse tipo de proteção. Nessa etapa da norma, são definidos parâmetros importantes, tais como: correntes de descarga, taxas de subida, níveis de proteção do sistema e as durações dos impulsos de corrente das descargas atmosféricas, descrevendo também os principais danos causados por essas descargas, que impactam diretamente no risco das estruturas a serem protegidas. Assim, enquanto a parte 02 da norma trata do equacionamento e da relação entre os danos e os riscos, a parte 01 introduz esses conceitos e os efeitos das descargas atmosféricas sobre os diversos tipos de edificações.

Os danos, devido às descargas atmosféricas que atingem a estrutura, podem se estender além da própria estrutura, incluindo a vizinhança e o ambiente local, além de se estender às falhas dos sistemas internos. A extensão desses danos varia de acordo com o tipo de estrutura e com a característica da descarga NBR 5419-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). Embora a corrente da descarga atmosférica seja sempre a fonte de danos, a posição do ponto de impacto, relativo à estrutura, é considerada na formulação do risco. São denominadas “fontes de dano”:

- S1: Descargas atmosféricas na estrutura;
- S2: Descargas atmosféricas próximas à estrutura;
- S3: Descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;
- S4: Descargas atmosféricas próximas a linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.

Além das fontes de danos, é necessário também classificar os tipos de danos decorrentes das descargas atmosféricas, que podem ser, segundo a NBR 5419-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015):

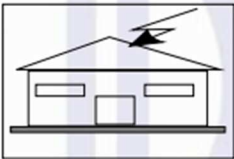
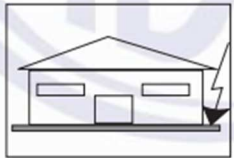
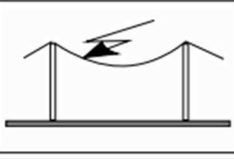
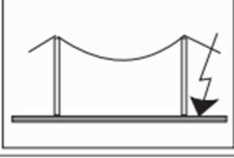
- D1: Danos às pessoas devido ao choque elétrico;
- D2: Danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- D3: Falhas de sistemas internos devido a LEMP.

Da mesma forma, para cada tipo de dano existe um tipo de perda associada. Os tipos de perdas destacadas pela NBR 5419-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) são:

- L1: Perda de vida humana;
- L2: Perda de serviço ao público;
- L3: Perda de patrimônio cultural;
- L4: Perda de valor econômico.

Enquanto as perdas do tipo L1, L2 e L3 são consideradas perdas de valor social, as perdas do tipo L4 são consideradas perdas puramente econômicas. A Figura 7 abaixo, ilustra a correspondência entre fonte de danos, tipo de danos e perdas.

Figura 7 – Danos e perdas relevantes para uma estrutura relacionados à diferentes pontos de impacto

Ponto de impacto		Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura		S2	D3	L1 ^b , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulação metálica		S4	D3	L1 ^b , L2, L4

Fonte: NBR 5419-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Nota da ilustração: a- Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais;

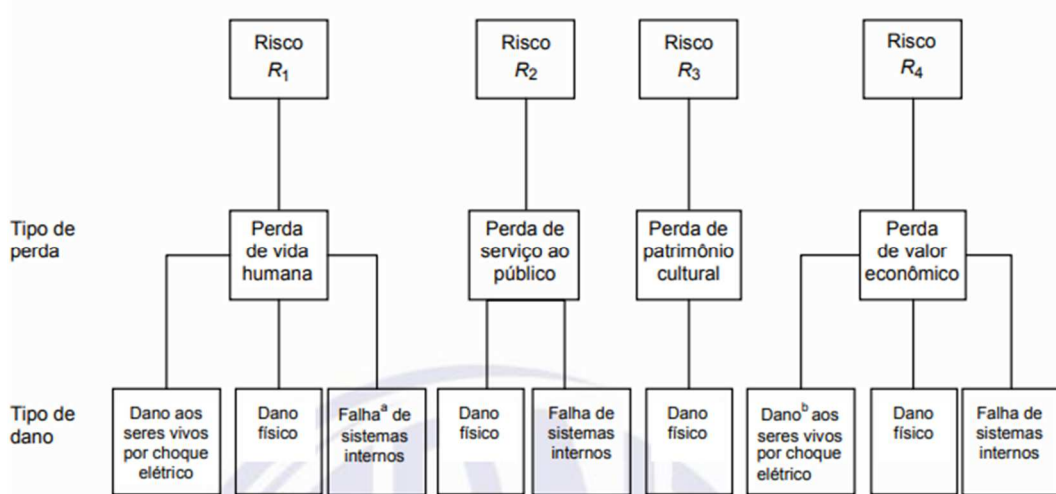
b- Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo.

Desta forma, para verificar se uma proteção contra descargas atmosféricas é necessária ou suficiente, deve-se realizar uma avaliação de risco, conforme a parte 02 da NBR 5419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). Os riscos avaliados são relativos a uma provável perda anual média e são divididos em:

- R1: Risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- R2: Risco de perdas de serviço ao público;
- R3: Risco de perdas do patrimônio cultural;
- R4: Risco de perdas de valores econômicos.

A proteção contra descargas atmosféricas será necessária sempre que o risco (soma dos riscos R1, R2, R3 e R4), for maior que o risco tolerado. A Figura 8 mostra uma relação entre os riscos, os tipos de perdas e os tipos de danos.

Figura 8 – Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam em diferentes tipos de danos



Fonte: NBR 5419-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. ix).

Nota da ilustração: a- Somente para estruturas com risco de explosão, hospitais ou outras estruturas nas quais falhas em sistemas internos colocam a vida humana diretamente em perigo;
b- Somente para propriedades onde pode haver perdas de animais.

Na parte 02 da NBR 5419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) está descrito o método para realização do estudo de risco de forma a avaliar se a estrutura precisa ou não ser protegida. Assim, é necessário a realização de cálculos referentes aos riscos que uma determinada estrutura apresenta.

Nota-se que cada tipo de risco avaliado (R_1 a R_4) é a soma dos seus componentes de risco associados, e esses riscos podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e tipos de danos.

4.4 Danos físicos à estrutura e perigos à vida

Com a elaboração do Gerenciamento de Risco é possível determinar o nível de proteção necessária para a edificação analisada. A Parte 01 da norma propõe 4 níveis de proteção (NP), e para cada NP é fixado um conjunto de parâmetros máximos e mínimos das correntes das descargas atmosféricas. Após a avaliação de risco, pode-se então determinar a classe do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA

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

Fonte: NBR 5419-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015. p. ix).

Os dados dependentes da classe do SPDA são:

- Parâmetros das descargas atmosféricas;
- Raio da esfera rola, tamanho da malha e ângulo de proteção;
- Distâncias típicas entre condutores de descida e dos condutores em anel;
- Distância de segurança contra centelhamentos perigosos;
- Comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

Os dados que não dependem da classe do SPDA são:

- Equipotencialização para descargas atmosféricas;
- Espessura mínimo de placas ou tubulações metálicas nos sistemas de captação;
- Materiais do SPDA e condições de uso;
- Materiais, configuração e dimensões mínimas para captadores, descidas e eletrodutos de aterramento elétrico.

O SPDA pode ser dividido em 3 subsistemas que englobam: a captação, a descida e o aterramento elétrico. A probabilidade de penetração da corrente de descarga na edificação é consideravelmente reduzida pela correta disposição do subsistema de captação. A correta posição dos elementos captadores e do subsistema de captação é o que determina o volume de proteção, conforme NBR 5419-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). A parte 3 da norma prevê três métodos para dimensionamento do subsistema de captação:

- Método do ângulo de proteção;
- Método das malhas;
- Método da esfera rolante.

Os métodos da esfera rolante e das malhas são adequados para todas as situações. Porém, o método do ângulo de proteção é adequado apenas para edificações com formato simples, pois está sujeito aos limites de altura indicados na norma.

O método do ângulo de proteção, consiste em, por meio de uma ou mais hastes, elaborar uma zona de proteção sobre a estrutura, de modo a diminuir a altura efetiva entre a nuvem carregada e a edificação, rompendo, assim, a rigidez dielétrica e aumentando as chances da descarga atmosférica incidir sobre aquele ponto, o da haste captora, e não sobre a edificação a ser protegida (SOUZA et al., 2012). Já o método das malhas consiste em posicionar um sistema de captadores formado por condutores horizontais interligados, formando uma malha no topo e na lateral da estrutura a ser protegida, reduzindo, assim, a probabilidade de penetração do raio ao interior da estrutura.

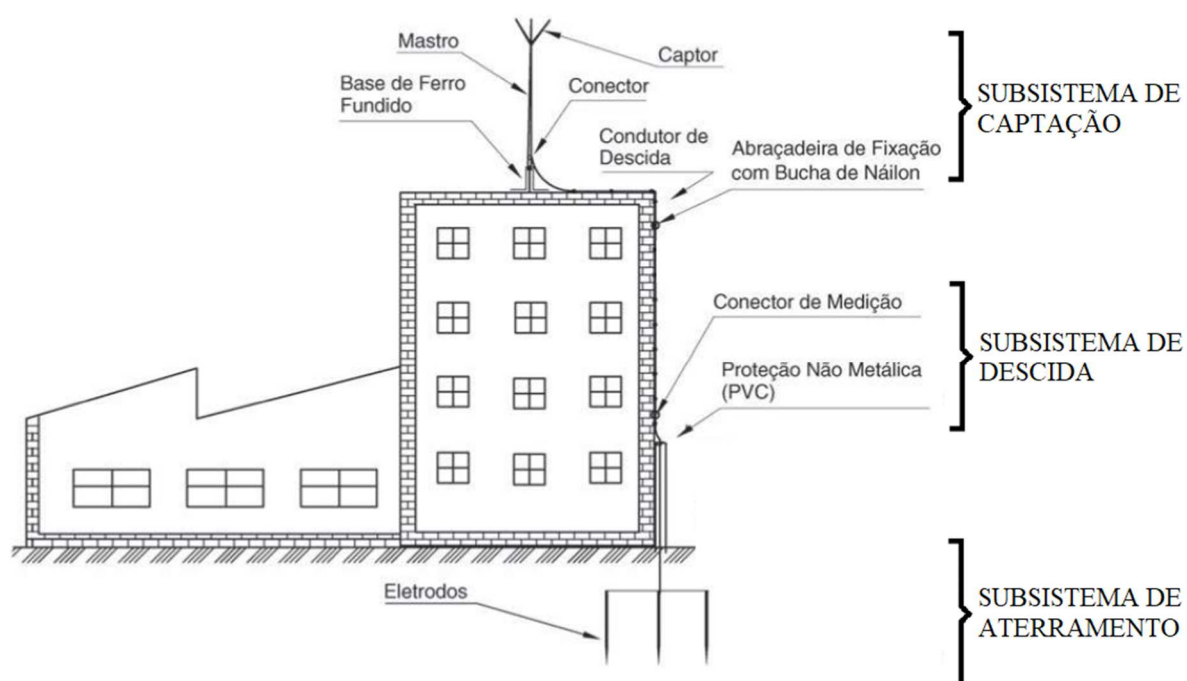
O método da esfera rolante consiste em posicionar captadores de tal forma que nenhum ponto da estrutura a ser protegida entre em contato com a esfera fictícia, rolando ao redor e no topo da estrutura em todas as direções, conforme NBR 5419-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). O raio da esfera rolante, assim como a distância entre as malhas e o ângulo de proteção, depende da classe do SPDA definida pelo gerenciamento de risco.

O subsistema de descida é composto pelos condutores de descida, que podem ser internos à edificação por meio da descida estrutural ou externos à edificação. Os condutores de descida devem ser dimensionados a fim de prover diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica da descarga, com o menor comprimento possível e de forma a possibilitar a equipotencialização com as partes condutoras da estrutura a ser protegida, conforme recomendações da norma. Assim, como no caso do subsistema de captação, o espaçamento entre os condutores do subsistema de descida é função da classe do SPDA, definida pelo gerenciamento de risco.

A NBR 5419-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) menciona que, para o subsistema de aterramento elétrico, deve-se obter a menor resistência de aterramento

elétrico possível, e é adequado que uma única infraestrutura de aterramento elétrico integrada seja elaborada. Assim, o subsistema de aterramento elétrico pode ser descrito como o conjunto de eletrodos verticais e horizontais enterrados por, pelo menos, 80% do seu comprimento, que tem como principal função dissipar as correntes de descarga de forma uniforme à terra. Desse modo, como os demais subsistemas, o dimensionamento do subsistema de aterramento elétrico é função da classe do SPDA definida pelo gerenciamento de risco. A Figura 9, a seguir, exemplifica os subsistemas mencionados e suas posições sob a estrutura a ser protegida.

Figura 9 – Subsistemas de captação, descida e aterramento elétrico



Fonte: Mamede Filho (2002, p. 28).

Nota: Adaptado pelo autor.

4.5 Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

Os equipamentos eletrônicos, em geral, são bem sensíveis a surtos de tensões oriundos de descargas atmosféricas, visto que tais surtos podem atingir valores elevados, acarretando, assim, em falhas e mau funcionamento desses equipamentos (MAMEDE FILHO, 2002). Dessa forma, para que exista a proteção dos equipamentos eletrônicos é necessário a implantação de medidas adicionais de proteção. Para a ABNT NBR 5419-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), as medidas básicas de proteção contra surtos oriundos de descargas atmosféricas são:

- Aterramento elétrico e equipotencialização;
- Blindagem magnética e roteamento das linhas;
- Coordenação de DPS.

A equipotencialização, por meio de Barramentos de Equipotencialização Principal – BEP ou por meio de Barramentos de Equipotencialização Local (BEL), tem por objetivo evitar o surgimento de potenciais de passo indesejados. Assim, a ABNT NBR 5419-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) define a equipotencialização como o conjunto de medidas que visa a redução dos valores das tensões causadas por descargas atmosféricas. No entanto, a blindagem magnética pode ser alcançada por meio da utilização de cabos dentro de eletrodutos metálicos aterrados, reduzindo os valores das correntes e tensões conduzidas para dentro da edificação (PAULINO et al., 2016). A coordenação de Dispositivos de Proteção contra Surtos – DPS é, também, vital para a correta supressão dos surtos oriundos, principalmente, de linhas de energia ou sinal que adentram à edificação. Esses dispositivos devem ser dimensionados de acordo com sua localização na instalação e de acordo com a corrente de ruptura prevista para aquele ponto.

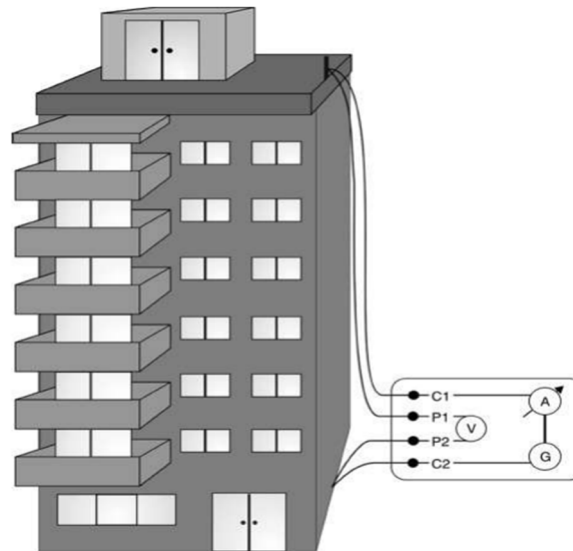
4.6 Teste de Continuidade – Verificação atual do SPDA

O teste de continuidade é fundamental para garantir que o sistema esteja funcionando corretamente. Uma indicação de boa continuidade elétrica, entre as ferragens de uma instalação, vem a ser uma resistência entre dois pontos inferior a 1 (idealmente $< 0,1$). O equipamento utilizado irá injetar, entre os dois pontos de medição, uma corrente mínima de 1 A, sendo desejável a utilização de correntes superiores a 10 A.

Com o Miliohmímetro e todas as hastes de aterramento elétrico desconectadas, serão feitos os seguintes testes de continuidade, como ilustrado na Figura 10:

1. Cordoalha, localizada no captor, com todas as decidas, anotando os valores;
2. Entre as descidas mais afastadas, de modo a se medir a continuidade;
3. Entre os conectores de aterramento elétrico.

Figura 10 – Teste de continuidade das ferragens



Fonte: Creder (2016, p. 18).

4.7 Sistemas de Aterramento Elétrico

O sistema de aterramento elétrico é o sistema responsável por estabelecer um referencial elétrico para a rede elétrica, além de ser o destino de correntes elétricas oriundas de naturezas diversas como (CREDER, 2016):

- Correntes de raios;
- Descargas eletrostáticas;
- Correntes de filtros, supressores de surtos e para-raios de linha;
- Correntes de faltas (defeitos) para a terra.

Para que isso ocorra, a ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) recomenda que toda edificação deve dispor de uma infraestrutura de aterramento elétrico, o conhecido “eletrodo de aterramento”; esse sistema pode ser implementado diretamente nas próprias armaduras do concreto das fundações (preferencialmente), usando fitas, barras ou cabos metálicos, especialmente previstos, imersos no concreto das fundações ou usar malhas metálicas enterradas no nível das fundações, cobrindo a área da edificação e complementares, e por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente ("pés de galinha"), ou, no mínimo, o uso de anel metálico enterrado, circundando o perímetro da edificação e complementares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Para a verificação da integridade do aterramento de uma edificação já construída, é necessário que seja realizado o teste de continuidade do subsistema de aterramento. Caso o sistema executado não atenda aos critérios estabelecidos pela norma, deve-se propor medidas de proteção contra danos devido às tensões de toque e de passo, tais como a instalação de eletrodos de aterramento reticulado complementar no entorno do condutor de descida, conforme seção 8 da norma NBR 5419-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

4.7.1 Tipos de aterramento elétrico

Os tipos de aterramento elétrico são classificados segundo os códigos de letras na forma XYZ, em que (CREDER, 2016):

X = identifica a situação da alimentação em relação à terra:

T = sistema diretamente aterrado;

I = sistema isolado ou aterrado por impedância.

Y = identifica a situação das massas da instalação com relação à terra:

T = massas diretamente aterradas;

N = massas ligadas ao ponto de alimentação, onde é feito o aterramento elétrico.

Z = disposição dos condutores neutro e de proteção:

S = condutores neutro e de proteção separados;

C = neutro e de proteção combinados em um único condutor (PEN).

4.8 Adequação do QGBT aos quadros de Disjuntores

4.8.1 Dimensionamento de condutores elétricos

O dimensionamento de condutores elétricos tem por finalidade definir a seção mais adequada capaz de permitir a corrente elétrica, sem aquecimento excessivo e que a queda de tensão seja mantida dentro dos valores normalizados, de modo que atenda, no mínimo, os seguintes critérios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004):

- A capacidade de condução de corrente dos condutores deve ser igual ou superior a corrente de projeto do circuito;
- Proteção de sobrecarga, curto-circuito e solitação térmica;
- Proteção contra os choques elétricos por seccionamento automático da alimentação em esquemas TN, TT e IT;
- Os limites de queda de tensão;
- As seções mínimas indicadas.

Para se obter esse valor, os seguintes critérios são analisados:

- Seção Mínima, conforme ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), só para circuitos terminais - Estabelece que as seções mínimas dos condutores fase em corrente alternada – CA e dos condutores vivos em corrente contínua – CC não sejam inferiores às indicadas na Figura 11.

Figura 11 – Seção mínima dos condutores

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm ² - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força ²⁾	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu ³⁾
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu ⁴⁾
		Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

Fonte: Norma 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 26).

Nota da ilustração: 1) Seções mínimas ditadas por razões mecânicas.

2) Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de forças.

3) Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção de 0,1 mm².

4) Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².

- Capacidade de Condução de Corrente (Ampacidade) - Este critério se aplica ao dimensionamento da seção dos condutores fase, os quais servirão de base para o

dimensionamento das seções dos condutores neutro e de proteção (terra). Em condições de funcionamento normal, a temperatura de um condutor, isto é, a temperatura da superfície de separação entre o condutor propriamente dito e a isolamento não pode ultrapassar a chamada temperatura máxima de operação.

- Queda de Tensão (Método da queda de tensão unitária) - É analisada a queda de tensão em uma instalação elétrica, desde sua origem até o ponto mais afastado de qualquer circuito terminal, não deve ser superior aos valores estabelecidos no item 6.2.7.1 da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Para a verificação do quadro, será feito o levantamento da carga de todos os quadros e da distância de cada um deles ao QGBT, de modo a verificar se o dimensionamento dos cabos alimentadores atende aos critérios da norma.

5 METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

Este projeto, quanto aos procedimentos a serem adotados, caracteriza-se como um estudo de caso, pois busca a aplicação prática de conhecimentos para a solução de problemas sociais (BOAVENTURA, 2004). Trata-se de uma pesquisa quantitativa, pois serão coletadas informações atuais referentes aos sistemas implantados, seu ano de instalação, suas características de construção, seu estado atual e medições que o sistema oferece.

Como este projeto gera conhecimentos para aplicações práticas dirigidos a soluções de problemas enquadrando-se em uma pesquisa aplicada. Com o objetivo de explicar o porquê dos sistemas atuais não proporcionarem proteção, esse trabalho se classifica como uma pesquisa explicativa.

A primeira etapa será a revisão bibliográfica de modo a garantir informações para os requisitos mínimos do projeto, seguida de uma nova visita ao local e, assim, coletar de dados cruciais como, medições de resistividade do SPDA atual, medição da continuidade dos subsistemas de aterramento, descida e captação, levantamento da carga elétrica em cada quadro e etc. Com essas informações, serão avaliados o sistema atual estão em coerente segundo as normas vigentes e, caso não seja, serão feitas duas análises:

- Aplicação de correção: os sistemas atuais serão analisados e, a partir disto, verificado se o mesmo é passível de correção ou adequação, de modo que possa, após isso, atender à norma vigente.
- Novo projeto: caso não haja ou não seja passível de correção, um novo projeto será feito do zero, visando atender às normas vigentes.

Após a confecção dos projetos, ele será detalhado e entregue à instituição religiosa em formato A0, para que a mesma possa proceder a sua implementação.

6 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Este projeto tem um prazo de 4 meses para sua realização, conforme cronograma de execução mostrado no Quadro 3, tendo o seu período de 14 de junho de 2021 a 06 de outubro de 2021.

Lista e descrição das Atividades Previstas

- a) **Atividade A:** Revisão Bibliográfica.
- b) **Atividade B:** Levantamento das cargas elétricas em cada quadro elétrico.
- c) **Atividade C:** Medição da resistividade do SPDA.
- d) **Atividade D:** Tratamento dos dados coletados e avaliação das informações.
- e) **Atividade E:** Apresentação das soluções e confecção dos novos projetos.
- f) **Atividade F:** Criação de prancha para cada projeto proposto.
- g) **Atividade G:** Escrita do Projeto de Graduação.
- h) **Atividade H:** Entrega para avaliação dos professores orientadores.
- i) **Atividade I:** Correção do projeto de graduação.
- j) **Atividade J:** Entrega e defesa do projeto de graduação.

Quadro 3 – Cronograma de Execução das Atividades Previstas

Meses	Junho 2021				Julho 2021				Agosto 2021				Setembro 2021				Outubro 2021			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Atividade A																				
Atividade B																				
Atividade C																				
Atividade D																				
Atividade E																				
Atividade F																				
Atividade G																				
Atividade H																				
Atividade I																				
Atividade J																				

Fonte: Produção do próprio autor

7 ALOCAÇÃO DE RECURSOS

Para a elaboração do projeto será necessário a utilização dos seguintes materiais de propriedade do aluno:

- Paquímetro;
- Trena 5 m;
- Trena a laser 40 m;
- Terrômetro;
- AutoCad - Versão Estudante;
- *Excel e Word (Office 365)*;

Será providenciado o aluguel, custeado por esse aluno, do seguinte equipamento:

- Miliôhmímetro digital - medição da continuidade elétrica (resistência ôhmica) entre a parte superior e a parte inferior de uma estrutura metálica em edifícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**. Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-1**: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-2**: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de Risco. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-3**. Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5419-3**: Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

BOAVENTURA, Edvaldo Machado. **Metodologia da Pesquisa**: monografia, dissertação e tese. São Paulo: Atlas, 2004.

CASE EDITORIAL. **100 Páginas com o Melhor do Enem**: Geografia e História. 2.ed. São Paulo: Case Editorial, 2017. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/100_P%C3%A1ginas_Com_o_Melhor_Do_Enem_Ed_2_G/Fu84DwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=0. Acesso em: 31 mar. 2021.

CAVALIN, Geraldo; SERVELIN, Severino. **Instalações elétricas**. 14. ed. São Paulo: Érica, 2006.

COTRIM, Ademaro Alberto Bittencourt. **Biografia**: ao mestre com carinho. 5. ed. São Paulo: Pearson Education, 2009.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2016.

FOLHA VITORIA. Mais de 67 mil raios são registrados no Espírito Santo: Saiba o que fazer para se proteger. **Folha Vitória**, 08 de março de 2021. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/elatMidia/arquivos/20210309163114clipping-r7-folha-vitoria-2021-03-08.jpg>. Acesso em: 13 mar. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **O que são descargas atmosféricas**. Grupo de Eletricidade Atmosférica: INPE, 2019. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/rindat/menu/desc.atm/>. Acesso em: 13 mar. 2021.

KINDERMANN, Geraldo. **Descarga Atmosférica**. 3. ed. Florianópolis: Edição do Autor, 2002.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas**. 8. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2010.

PAULINO, José Osvaldo Saldanha; BARBOSA, Célio Fonseca; MOREIRA, Ronaldo Kascher; BARBOSA, Wagner Almeida; LOBO, Marcelo Augusto Freire; LOBO, Ailton Ricaldoni. **Proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra surtos elétricos em instalações**. 1. ed. Lagoa Santa, MG: Clamper, 2016.

SOUZA, André Nunes de; BARROS, Benjamin Ferreira de; RODRIGUES, José Eduardo; BORELLI, Reinaldo. **Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: Teoria, Prática e Legislação**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2012.