

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LEONARDO APOLINARIO FERREIRA

Estudo de Viabilidade Técnica de um SPDA: Análise de
diferentes metodologias para a implementação de um SPDA
em um posto de gasolina

São Carlos
2024

LEONARDO APOLINARIO FERREIRA

Estudo de Viabilidade Técnica de um SPDA: Análise de
diferentes metodologias para a implementação de um SPDA
em um posto de gasolina

Monografia apresentada ao Curso
de Engenharia Elétrica - Ênfase
em Sistemas de Energia e Auto-
mação, da Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade
de São Paulo, como parte dos
requisitos para obtenção do Título
de Engenheiro(a) Eletricista

Orientador: Prof. Dr. Benvindo
Rodrigues Pereira Júnior

São Carlos
2024

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

A345e	Apolinario Ferreira, Leonardo Estudo de Viabilidade Técnica de um SPDA: Análise de diferentes metodologias para a implementação de um SPDA em um posto de gasolina / Leonardo Apolinario Ferreira; orientador Benvindo Rodrigues Pereira Júnior. São Carlos, 2024. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2024. 1. SPDA. 2. Descargas atmosféricas. 3. Posto de gasolina. 4. Gerenciamento de risco. 5. Viabilidade Técnica . I. Título.
-------	---

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Leonardo Apolinario Ferreira

Título: "Estudo de Viabilidade Técnica de um SPDA: Análise de diferentes metodologias para a implementação de um SPDA em um posto de gasolina"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 26 / 06 / 2024,

com NOTA 8,5 (oitó, cinco), pela Comissão
Julgadora:

Prof. Dr. Benvindo Rodrigues Pereira Júnior - Orientador -
SEL/EESC/USP

Dr. Wandry Rodrigues Faria - Pós-Doutorando EESC/USP

Mestre Ellen Cristina Cruz de Souza - Doutoranda EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Professor Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior

*Este trabalho é dedicado a todos que não tem pressa,
e que ainda assim, não perdem tempo.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que se fez presente na infinita soma de detalhes e combinações impossíveis de serem analisadas singularmente e escolhidas por mim, e que ainda assim, foram selecionadas por Ele para que pudessem influenciar e auxiliar meu desenvolvimento humano, pessoal e espiritual na vida terrena.

À minha mãe Andrea que nunca permitiu a falta de lições e aprendizado sobre ternura e amor incondicional, pilar máximo de inspiração para a pessoa que eu escolhi ser, hoje.

À minha avó Aparecida, pelo ensinamento de como a personificação de paixão, cuidado, carinho e atenção deve ser.

Aos meus familiares: Ivone, Isabel, Camila, Henrique, Nivaldo, Sergio e Sergio, que sempre estiveram aqui, presentes e preparados para enfrentar qualquer desafio em meu nome sem medir qualquer esforço ou recompensa no caminho, sendo minha principal fonte de fortaleza, esperança e ensinamento.

Aos meus amigos: Bruno, Caio, Felipe, Felipe, Gabriel, Gustavo, João, José, Leandro, Thiago, Victor, Vitor, e tantos outros que eu tive a oportunidade de partilhar momentos em alguma circunstância, pelos momentos de riso e alegria, preocupações e obstáculos superados juntos, e principalmente pelas conquistas sempre compartilhadas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Benvindo Rodrigues Pereira Júnior e todos os professores que eu tive o imenso prazer de conhecer nesta jornada, que desde cedo, me instruíram ao alcançar meu potencial máximo dentro e fora da sala de aula.

*“Na minha opinião, todo mundo recebe uma dádiva.
Por exemplo, muito provavelmente eu nunca vou ser atingido por um raio,
nem ganhar um Prêmio Nobel, nem virar ditador de uma pequena ilha do Pacífico,
nem ter um câncer terminal de ouvido, nem sofrer combustão espontânea.
Mas, se você levar em conta todos os eventos improváveis,
é possível que pelo menos um deles vá acontecer a cada um de nós.”*
(GREEN, 2008)

RESUMO

FERREIRA, Leonardo Apolinario. **Estudo de Viabilidade Técnica de um SPDA**: Análise de diferentes metodologias para a implementação de um SPDA em um posto de gasolina. 2024. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

O presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica de implementação de diferentes métodos e tecnologias de instalação de um SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas), aplicados a um projeto de posto de gasolina. Para tanto, a pesquisa se aprofundará no sistema de estudo e análise que garante a aplicação de cada um dos subsistemas que compõem o SPDA. Inicialmente, o estudo será estruturado em função dos termos e definições dos principais elementos de composição do tema, para em seguida detalhar os fundamentos e a resolução do estudo de gerenciamento de risco para a edificação escolhida, e assim, elaborar os conceitos de aplicação dos três métodos de construção de um subsistema de captação para o SPDA externo: método de Franklin (método do ângulo de proteção), método de Faraday (método das malhas) e o método da esfera rolante, além dos subsistemas de descida e aterramento. Como resultado, espera-se encontrar valores que demonstrem a efetividade de cada um dos métodos empregados, para que ao fim, tenha-se a conclusão, por meio de parâmetros econômicos e técnicos, de qual deles tem o melhor custo-benefício por nível de proteção fornecido confrontando os dados alcançados, dada sua aplicação ao posto de combustível.

Palavras-chave: SPDA. Descargas atmosféricas. Posto de gasolina. Gerenciamento de risco. Viabilidade técnica.

ABSTRACT

FERREIRA, Leonardo Apolinario. **Technical Feasibility Study of a LPS**: Analysis of different methodologies for a LPS implementation in a gas station. 2024. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

The aim of this work is to analyze the technical feasibility of implementing different methods and technologies for installing an SPDA (Protection System against Atmospheric Discharges), applied to a gas station project. To this end, the research will delve into the study and analysis system that guarantees the application of each of the subsystems that make up the SPDA. Initially, the study will be structured according to the terms and definitions of the main elements that make up the subject, and then detail the fundamentals and resolution of the risk management study for the chosen building, and thus elaborate the concepts of application of the three methods of construction of a collection subsystem for the external SPDA: Franklin's method (protection angle method), Faraday's method (mesh method) and the rolling ball method, as well as the descent and grounding subsystems. As a result, we hope to find values that demonstrate the effectiveness of each of the methods used, so that in the end we can conclude, by means of economic and technical parameters, which of them has the best cost-effectiveness per level of protection provided by comparing the data obtained, given their application to the gas station.

Keywords: LPS. Atmospheric discharges. Gas stations. Risk management. Technical feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419	31
Figura 2 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas conforme o ponto de impacto	33
Figura 3 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda de uma estrutura	36
Figura 4 – Valores típicos de riscos toleráveis R_T	37
Figura 5 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos	40
Figura 6 – Mapa do Brasil - Densidade de descargas atmosféricas N_G (descargas atmosféricas/km ² /ano)	41
Figura 7 – Ferramenta de mapeamento de raios no Brasil em tempo real	41
Figura 8 – Fator de localização da estrutura C_D	42
Figura 9 – Áreas de exposição equivalente	43
Figura 10 – Fator do tipo de linha C_T	44
Figura 11 – Fator de instalação da linha C_l	45
Figura 12 – Fator ambiental da linha C_E	46
Figura 13 – Valores de probabilidade P_{TA} devido às tensões de toque e de passo perigosas	47
Figura 14 – Valores de probabilidade P_B	48
Figura 15 – Valores de probabilidade P_{SPD} conforme o nível de proteção NP para qual o DPS foi projetado	48
Figura 16 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} conforme as condições de blindagem, aterramento e isolamento	49
Figura 17 – Valor de K_{S3} conforme a fiação interna	50
Figura 18 – Valores da probabilidade P_{TU} conforme as medidas de proteção	51
Figura 19 – Valores da probabilidade P_{EB} de acordo com NP definido na projeção do DPS	52
Figura 20 – Valores da probabilidade P_{LD} de acordo a resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável do impulso U_W do equipamento	52
Figura 21 – Valores da probabilidade P_{LI} conforme o tipo de linha e da tensão suportável e impulso U_W dos equipamentos	53
Figura 22 – Tipo de perda L1: Valores de perda para diferentes tipos de dano	54
Figura 23 – Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O	55
Figura 24 – Fator de redução r_t	55
Figura 25 – Fator de redução r_p	56
Figura 26 – Fator de redução r_f	56
Figura 27 – Fator de redução h_z	57
Figura 28 – Tipo de perda L2: Valores de perda para cada zona	57

Figura 29 – Tipo de perda L3: Valores de perda para cada zona	58
Figura 30 – Tipo de perda L4: Valores de perda para cada zona	58
Figura 31 – Tipo de perda L4: Valores médios típicos L_T , L_F e L_O	59
Figura 32 – Características gerais da estrutura	66
Figura 33 – Exemplo de lista suspensa	67
Figura 34 – Características gerais da linha de energia	68
Figura 35 – Características gerais da linha de sinal	68
Figura 36 – Características gerais da zona externa	69
Figura 37 – Características gerais da zona interna	70
Figura 38 – Exposição equivalente da estrutura e linhas	71
Figura 39 – Número de eventos perigosos	71
Figura 40 – Parâmetros da avaliação da probabilidade de danos	72
Figura 41 – Parâmetros da avaliação da probabilidade de danos	73
Figura 42 – Resultado e comparação dos riscos para cada tipo de perda e zonas . .	75
Figura 43 – Projeto do posto de gasolina	77
Figura 44 – Complexo composto pelas ilhas de abastecimento e a conveniência . .	78
Figura 45 – Corte A-A	79
Figura 46 – Corte B-B	79
Figura 47 – Indicação das Zonas 1 no posto de gasolina	80
Figura 48 – Modelo de um sistema de SPDA externo	87
Figura 49 – Relação entre método de proteção e classe de SPDA	87
Figura 50 – Posicionamento da esfera rolante	88
Figura 51 – Relação entre o ângulo de proteção e classe de SPDA	88
Figura 52 – Volume de proteção provido pelo mastro	89
Figura 53 – Valores típicos de distanciamento entre os condutores de descida e os anéis horizontais conforme a classe de SPDA proposta	90
Figura 54 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método do ângulo de proteção para a conveniência do posto	91
Figura 55 – Posicionamento em corte do subsistema de captação e de descida pelo método do ângulo de proteção para a conveniência do posto	92
Figura 56 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método das malhas para a conveniência do posto	92
Figura 57 – Posicionamento em corte do subsistema de captação e de descida pelo método das malhas para a conveniência do posto	93
Figura 58 – Posicionamento das esferas rolantes em corte horizontal para a conveni- ência do posto	93
Figura 59 – Posicionamento das esferas rolantes em corte vertical para a conveniên- cia do posto	94

Figura 60 – Posicionamento em corte horizontal do subsistema de captação e de descida pelo método da esfera rolante para a conveniência do posto . . .	94
Figura 61 – Posicionamento em corte vertical do subsistema de captação e de descida pelo método da esfera rolante para a conveniência do posto	95
Figura 62 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método da esfera rolante para a conveniência do posto	95
Figura 63 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método do ângulo de proteção para as ilhas de abastecimento do posto	96
Figura 64 – Posicionamento em corte do subsistema de captação e de descida pelo método do ângulo de proteção para as ilhas de abastecimento do posto	97
Figura 65 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método das malhas para as ilhas de abastecimento do posto	97
Figura 66 – Posicionamento em corte do subsistema de captação e de descida pelo método das malhas para as ilhas de abastecimento do posto	98
Figura 67 – Posicionamento das esferas rolantes em corte horizontal para as ilhas de abastecimento do posto	98
Figura 68 – Posicionamento das esferas rolantes em corte vertical para as ilhas de abastecimento do posto	99
Figura 69 – Posicionamento em corte horizontal do subsistema de captação e de descida pelo método das esferas rolantes para as ilhas de abastecimento do posto	99
Figura 70 – Posicionamento em corte vertical do subsistema de captação e de descida pelo método das esferas rolantes para as ilhas de abastecimento do posto	100
Figura 71 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método das esferas rolantes para as ilhas de abastecimento do posto	100
Figura 72 – Configuração do subsistema de aterramento através das composições propostas pelo método do ângulo de proteção	102
Figura 73 – Configuração do subsistema de aterramento através das composições propostas pelo método das malhas	103
Figura 74 – Configuração do subsistema de aterramento através das composições propostas pelo método das esferas rolantes	104
Figura 75 – Possível conexão dos tanques de armazenamento e dos suspiros ao eletrodo de aterramento	105
Figura 76 – Comparação horizontal entre os ângulos de proteção para as ilhas de abastecimento	107
Figura 77 – Comparação vertical entre os ângulos de proteção para as ilhas de abastecimento	107
Figura 78 – Custo comparativo final para o projeto de SPDA do posto de gasolina relacionando cada um dos modelos finais propostos	110

Figura 79 – Classes de DPS	118
Figura 80 – Classificação de zonas para uma operação de abastecimento de um posto de gasolina	120
Figura 81 – Princípios gerais de divisão de diferentes ZPR	121
Figura 82 – Sistema desprotegido	123
Figura 83 – Redução do campo eletromagnético no interior de uma ZPR por meio de sua blindagem	123
Figura 84 – Redução da influência do campo eletromagnético nas linhas por meio de blindagem	123
Figura 85 – Redução da área do laço de indução por um roteamento adequado das linhas	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela associativa entre fonte de dano, tipo de dano, risco para cada tipo de perda e componentes de risco	75
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Técnica Brasileira
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
LPS	Lightning Protection System
MPS	Medidas de Proteção contra Surtos
PDA	Proteção contra Descargas Atmosféricas
LEMP	Lightning Electromagnetic Impulse
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
ZPR	Zonas de Proteção contra Raios
EB	Equipotencial Bonding
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
PVC	Policloreto de Vinilo
IEC	International Electrotechnical Commission

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	Descargas Atmosféricas	29
2.2	Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas	30
2.3	Introdução à ABNT NBR 5419-2:2015	31
2.4	Interpretação dos termos e definições da ABNT NBR 5419-2:2015	32
2.4.1	Danos e Perdas	32
2.4.2	Riscos e componentes de risco	33
2.4.2.1	Componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S1	34
2.4.2.2	Componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S2	34
2.4.2.3	Componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S3	34
2.4.2.4	Componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S4	35
2.4.3	Composição dos componentes de risco	35
2.5	Gerenciamento de Risco	36
2.6	Análise das componentes de risco	38
2.6.1	Análise dos componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S1	38
2.6.2	Análise dos componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S2	39
2.6.3	Análise dos componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S3	39
2.6.4	Análise dos componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S4	39
2.6.5	Sumário dos componentes de risco	39
2.7	Análise do número anual N de eventos perigosos	40
2.7.1	Análise da densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G	40
2.7.2	Análise da área de exposição equivalente A_D	42
2.7.3	Análise do fator de localização da estrutura C_D	42
2.7.4	Número de eventos perigosos N_D para a estrutura	43
2.7.5	Número de eventos perigosos N_{DJ} para uma estrutura adjacente	43
2.7.6	Número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura	44
2.7.7	Número médio anual de eventos perigosos N_L devido a descargas atmosféricas na linha	45
2.7.8	Número médio anual de eventos perigosos N_l devido a descargas atmosféricas perto da linha	46

2.8	Avaliação da probabilidade P_X de danos	47
2.8.1	Probabilidade P_A de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico	47
2.8.2	Probabilidade P_B de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos	47
2.8.3	Probabilidade P_C de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos	48
2.8.4	Probabilidade P_M de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos	49
2.8.5	Probabilidade P_U de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico	51
2.8.6	Probabilidade P_V de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos	52
2.8.7	Probabilidade P_W de uma descarga atmosférica em uma linha causar falha de sistemas internos	53
2.8.8	Probabilidade P_Z de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falhas de sistemas internos	53
2.9	Avaliação da quantidade de perda L_X	53
2.9.1	Perda de vida humana L1	54
2.9.2	Perda inaceitável de serviço ao público L2	57
2.9.3	Perda inaceitável de patrimônio cultural L3	58
2.9.4	Perda econômica L4	58
2.10	Introdução à ABNT NBR 5419-3:2015	59
2.10.1	Subsistema de captação	60
2.10.2	Subsistema de descida	61
2.10.3	Subsistema de aterramento	61
2.11	Considerações finais	62
3	MATERIAIS E MÉTODOS	65
3.1	Elaboração da planilha de gerenciamento de risco	65
3.1.1	Concepção dos campos de inserção de dados da planilha	65
3.1.2	Concepção dos campos de análise de dados da planilha	70
3.1.3	Concepção dos campos de resultado da planilha	74
4	RESULTADOS	77
4.1	Modelo do posto de gasolina	77
4.2	Aplicação da planilha de gerenciamento de risco ao modelo	80
4.2.1	Gerenciamento de risco para a conveniência do posto de gasolina	80
4.2.2	Gerenciamento de risco para as ilhas de abastecimento do posto de gasolina	83

4.2.3	Interpretação das componentes de risco resultantes em relação ao risco tolerável	85
4.3	Incorporação da norma ABNT NBR 5419-3:2015 ao modelo	86
4.3.1	Aplicação de diferentes subsistemas de captação para a conveniência do posto de gasolina	89
4.3.2	Aplicação de diferentes subsistemas de captação para o conjunto de ilhas de abastecimento do posto de gasolina	90
4.4	Aplicação de diferentes medidas de proteção ao modelo	91
4.5	Considerações finais acerca dos estudos para a conveniência do posto de gasolina	105
4.6	Considerações finais acerca dos estudos para as ilhas de abastecimento do posto de gasolina	106
4.7	Estudo de viabilidade técnica	108
5	CONCLUSÃO	113
	REFERÊNCIAS	115
	APÊNDICE A - DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS . . .	117
	APÊNDICE B - ATMOSFERAS EXPLOSIVAS	119
	APÊNDICE C - BLINDAGEM E LAÇOS	121

1 INTRODUÇÃO

Com origem que remonta ao século XVIII, o SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas), conhecido popularmente como para-raios, foi inventado por Benjamin Franklin, quando o mesmo conduzia o seguinte experimento: decolar voo em uma pipa acoplada com um fio metálico. Entretanto, quando a mesma já estava próxima das nuvens, Franklin percebeu que os raios disparados pelas nuvens eram, em sua maioria, atraídos pelo fio metálico introduzido na pipa. Essa observação foi suficiente para comprovar sua teoria de que os raios, de fato, eram descargas elétricas formadas na atmosfera do planeta. Mais tarde, a fim de dar continuidade a sua linha de pesquisa, o cientista conectou hastes metálicas ao solo utilizando-as também como condutores de eletricidade, o que foi suficiente para que ele pudesse provar a eficácia dos para-raios, ainda não chamados de SPDA, como protetores de danos causados pelas descargas atmosféricas contra estruturas, edifícios, e conseqüentemente, vidas humanas (INSP—THERM TRAFOS SERVICE ENGENHARIA ELÉTRICA, s.d.).

Atualmente, tem-se por PDA (Proteção Contra Descargas Atmosféricas) um sistema completo de proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, incluindo todos os seus componentes humanos ou não, a fim de protegê-la contra a ameaça da descarga atmosférica e os riscos associados a essa descarga. Comumente, divide-se essas medidas de proteção em dois subsistemas: o SPDA que compõe a parte externa de proteção da estrutura, e as MPS (Medidas de Proteção Contra Surtos), constituídas pelos aparatos internos disponibilizados para prevenir surtos provocados pelos pulsos das descargas atmosféricas nos equipamentos elétricos.

Segundo a EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO (2022), o Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo, com mais de 70 milhões de descargas atmosféricas registradas por ano, sendo que previsões já indicam um possível aumento desse valor médio nas próximas décadas, podendo chegar até 100 milhões de descargas por ano, devido principalmente às mudanças climáticas dos últimos anos. Portanto, quando se direciona o estudo para a proteção de pessoas ou de patrimônio perante esse tipo de risco e perigo inerente às instalações no país, também se direciona o assunto aos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas. Nesse sentido, um SPDA nada mais é do que a construção de uma estrutura que seja capaz de oferecer um caminho que possa dissipar essas descargas atmosféricas até a terra por um caminho apropriado, uma vez que elas aconteçam.

No país, o setor de distribuição de combustíveis passou por diversas transformações nos últimos anos, sendo que na década de 90 chegou a movimentar um volume da ordem de U\$ 25 bilhões, e desde então vem crescendo em importância e estruturação dos grandes setores da economia brasileira. Desde então, as empresas do ramo tem desenvolvido cada vez mais artifícios e estratégias para fomentar e dar suporte a esse crescimento, garantindo

uma maior eficiência logística, sendo o aumento na produtividade de suas bases de distribuição uma destas estratégias (ILOS - ESPECIALISTAS EM LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN, 1998). Especialmente no Brasil, o sistema de distribuição de combustíveis é sustentado por 3 grandes participantes: as refinarias, as bases de distribuição de combustíveis e os clientes finais. A primeira deles é responsável pela transformação do óleo bruto na composição primária dos diversos produtos que utilizamos em nosso cotidiano, o segundo garante o armazenamento do mesmo em caminhões tanque e sua mistura com os produtos da empresa, como o etanol anidro e o etanol hidratado, conforme a especificação do cliente final, que pode ser um grande consumidor, um atacadista ou um posto de abastecimento, sendo esse último o grande foco e ponto de análise do excerto aqui redigido.

Nesse sentido, torna-se inviável a falta de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas em instalações desse tipo, tanto pelo risco humano envolvido, quanto pelo risco patrimonial, motivação pela qual se tornou necessária a elaboração, pela ABNT, de uma norma técnica brasileira (NBR) destinada especificamente a esse assunto. Como toda norma NBR, sua função é a de padronizar, organizar e qualificar procedimentos, facilitando o entendimento e compreensão geral sobre aquele processo, além de reduzir a ocorrência de falhas nesse processo, garantir um padrão de qualidade nos documentos e mais confiabilidade nos materiais elaborados (TECNOBLOG, 2021). Por isso, a principal ferramenta de apoio das elaborações aqui redigidas será também uma norma, a ABNT NBR 5419-1/2/3/4:2015 - Proteção Contra Descargas Atmosféricas.

Dessa forma, o objetivo dessa tratativa é fornecer estudos e conclusões a respeito da aplicação de todas as partes da norma ABNT NBR 5419:2015 a um projeto completo de SPDA acerca de um posto de gasolina, de forma que se possa explorar os detalhes da norma, os métodos de instalação dos subsistemas do SPDA, e assim combiná-los, de forma a permitir que suas vantagens e desvantagens sejam pontuadas por meio de um estudo de viabilidade técnica, indicando ao final do trabalho quais instalações, ou combinação de fatores das mesmas, alcançariam a melhor relação entre custo-benefício e nível de proteção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Descargas Atmosféricas

Segundo o professor Ronaldo Lima do Canal da Eletricidade (2016), devido principalmente à ação do homem, as condições climáticas e ambientais do ecossistema global sofreram fortes e rápidas alterações físicas e biológicas nos últimos 100 anos, fator que influencia e modifica até os dias atuais o regime e o ciclo das águas em todo o planeta. Basicamente, esse ciclo é definido a partir do fenômeno de evaporação da água dos rios, lagos e oceanos, bem como a evapotranspiração da fauna e da flora, movimentos de criação das nuvens na atmosfera. Assim, no momento que essas mesmas nuvens se fixam em elevadas altitudes e estão sobrecarregadas, ocorrem as chuvas, renovando e reiniciando o ciclo mais uma vez. A partir da formação das nuvens, é inevitável que se ocorra um movimento interno intenso entre suas massas de ar, o que acaba por gerar atrito entre as moléculas de água e de gelo intrínsecas a ela, causando sua eletrização.

Apesar de muitas teorias e definições a respeito do tema, ainda existe muito debate acerca da origem e formação das tempestades de raios envolvendo também as nuvens carregadas. Uma das teorias mais aceitas atualmente, pertence ao meteorologista Sir George Clarke Simpson (1878-1965), que por meio de suas observações, deduziu em sua tese que 95% das nuvens, quando carregadas, possui em sua parte inferior uma concentração maior de cargas negativas, enquanto sua parte superior fica carregada positivamente, sendo a região central e de contato entre ambas as extremidades constituída de gelo ou de uma massa de ar fria, atuando como uma camada isolante. Devido a essa configuração, uma nuvem acaba por induzir no solo cargas positivas, partículas estas que acompanharão o movimento da nuvem quando a mesma é carregada pelos ventos, reunindo a cada instante uma quantidade maior de partículas igualmente positivas também provenientes de estruturas ou componentes que estiverem sob sua trajetória de movimento no solo, devido a forte influência da elevada concentração de cargas negativas na parte inferior desta nuvem.

Nessa composição, a nuvem e o solo abaixo dela formam um bipolo, mesmo com um distanciamento entre eles de até 10.000 metros, o que acaba criando uma diferença de potencial, que pode chegar a 1 GV. Atuando em condições normais de umidade relativa, a rigidez dielétrica do ar é de aproximadamente 10kV/cm, sendo este o valor limite de aplicação de um campo elétrico sobre uma coluna de ar, marca em que o ar se torna ionizado, deixando de ser um isolante entre os bipolos, não atuando mais como uma resistência isolante entre os mesmos. Nessa situação, a nuvem entra em curto-circuito e realiza descargas elétricas em forma de descargas de retorno, onde a mesma se encaminha da terra em direção à nuvem, e não o contrário, fluindo uma corrente elétrica altíssima entre eles.

2.2 Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas

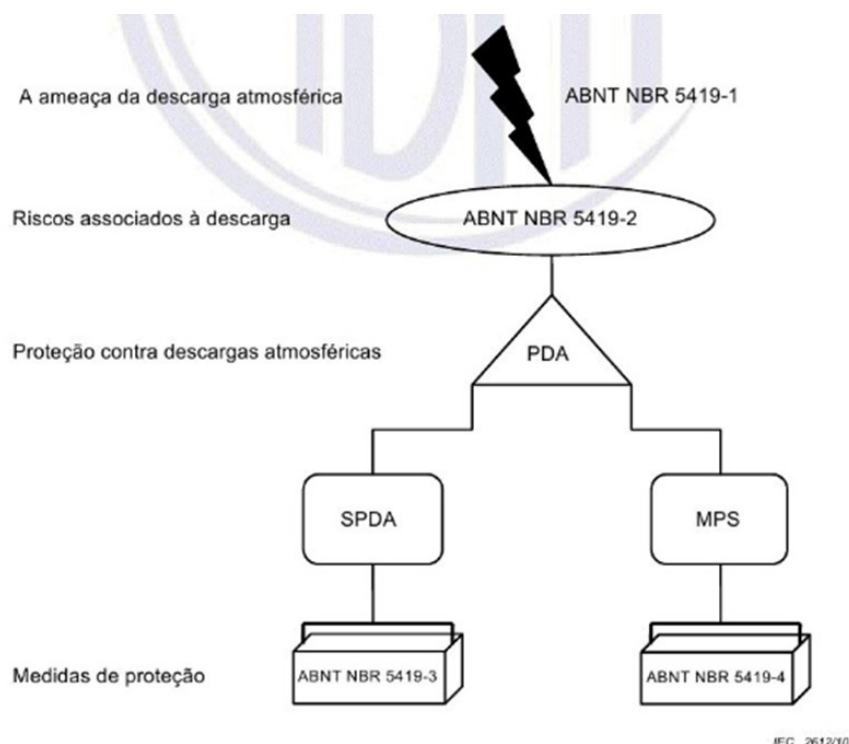
Até o momento, não existem métodos ou dispositivos que sejam capazes de modificar ou reduzir o impacto dos fenômenos climáticos naturais a ponto de prevenir a ocorrência de descargas atmosféricas, o que intrinsecamente traz consigo risco e perigo para as pessoas, conteúdos e sistemas que estejam localizados no interior das estruturas impactadas, ou até mesmo em suas proximidades, por isso todo cuidado e atenção são de extrema importância durante realização de uma análise ou estudo de impacto destes fenômenos.

Nesse sentido, ações e medidas de proteção contra descargas atmosféricas se fazem necessárias ainda no setor da construção civil, a fim de se garantir a segurança e a proteção não só das edificações e estruturas, como das pessoas e dos equipamentos que se encontram no interior das mesmas, fatores que, nesse caso, tornam-se a funcionalidade maior da ABNT NBR-5419, norma que regulamenta as condições de projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas nessas construções, e que será a principal ferramenta de suporte para a elaboração deste trabalho.

Tomando por nota a própria definição que a norma NBR 5419:2015 propõe, tem-se por PDA um sistema completo de proteção de estrutura contra descargas atmosféricas, incluindo todos os seus componentes, sejam eles seus sistemas internos, as pessoas que estão comportadas dentro dele e seu conteúdo, o que permite dividir esse sistema em duas partes de mesma importância: o SPDA, que compõe a parte externa de proteção que abrange apenas descargas atmosféricas diretas na estrutura, e a MPS, que são medidas de proteção interna contra surtos provocados pelos pulsos das descargas atmosféricas.

Com a mais recente atualização, a norma foi dividida em quatro partes que, por estarem interconectadas, serão mencionadas e utilizadas ao longo da produção deste trabalho. A primeira parte, NBR 5419-1, retrata os princípios gerais que englobam as proteções contra descargas atmosféricas, retratando as principais definições que abrangem o tema e pontuando como é feita a divisão entre as outras partes que compõem a norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a). Na NBR 5419-2 é realizado o gerenciamento de risco de uma determinada estrutura ou localização, para que a partir desses estudos e dos cálculos, sejam tomadas as medidas necessárias de implementação de um SPDA e MPS para a mesma, de forma a reduzir o risco de acidentes envolvendo uma possível descarga na estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b). Continuamente, são exatamente estes dois fatores que a NBR 5419-3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015c) e a NBR 5419-4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015d) abordam, as medidas de proteção para reduzir danos físicos e riscos a vida em uma estrutura, e as medidas de proteção para reduzir falhas de sistemas elétricos e eletrônicos em uma estrutura, respectivamente. Esta divisão citada anteriormente é simbolizada pela Figura 1:

Figura 1 – Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a)

2.3 Introdução à ABNT NBR 5419-2:2015

Segundo a própria norma, e como já descrito e discutido anteriormente nas sessões do documento, descargas atmosféricas para o solo podem ser perigosas tanto para as estruturas, quanto para as linhas de energia e de sinal. Esses perigos podem resultar em danos à estrutura e ao seu conteúdo, falhas aos sistemas eletroeletrônicos associados, e ferimentos aos seres vivos dentro ou perto das estruturas, sendo possível estender esses efeitos também às vizinhanças dessas estruturas. Portanto, a fim de reduzir e mitigar as perdas envolvendo esse tipo de fenômeno, podem ser necessárias medidas de proteção. Essas, quando necessárias, e em qual medida, são determinadas pela análise de risco, tema fundamental da norma ABNT NBR 5419-2:2015.

Após a realização da análise, é definido um risco para a estrutura que traduz a perda média anual da mesma devido às descargas atmosféricas, fator que será discutido e interpretado nos parágrafos subsequentes e, que depende do número anual de descargas atmosféricas que influenciam a estrutura, a probabilidade de dano por uma dessas descargas, e a quantidade média das perdas causadas. As descargas são geralmente divididas nas que atingem direta ou indiretamente a estrutura, além daquelas que atingem direta ou indiretamente as linhas de energia ao seu redor.

No trabalho a ser desenvolvido neste excerto, será abordado com mais afinco as descargas atmosféricas diretas à estrutura ou a uma linha conectada, onde os riscos

envolvendo danos físicos e perigo à vida são mais relevantes, direcionando de forma mais concisa o trabalho para o estudo e discussão dos princípios referentes ao SPDA externo, que abrange também a norma ABNT NBR 5419-3:2015.

Além disso, a normativa traduz que as dimensões e características da estrutura em observação é que ditam o número de descargas que irão influenciá-la, assim como as características do ambiente da mesma e de suas linhas, incluindo a densidade de descargas atmosféricas para sua localidade e região. Nesse sentido, uma etapa do processo se liga à outra, assim o número de descargas acaba por influenciar a probabilidade de danos na estrutura e, portanto, sua quantidade média de perda consequente da extensão dos danos, sendo ambas afetadas pelo tipo e pela eficiência das medidas de proteção aplicadas. Logo, para os casos em que a análise não demanda a existência de proteção, a decisão de prover uma proteção contra descargas atmosféricas ainda pode ser tomada.

2.4 Interpretação dos termos e definições da ABNT NBR 5419-2:2015

A seguir, serão definidos os principais termos e metodologia empregada na elaboração de um gerenciamento de risco. Ao final dessa etapa, uma planilha de gerenciamento de risco será produzida, a qual será utilizada nesse trabalho para a definição do nível e tipo de medida de proteção que será aplicada ao posto de combustíveis, solidificando e justificando as decisões e implementações que serão tomadas para esse intuito.

2.4.1 Danos e Perdas

Seguindo a norma, a corrente da descarga atmosférica é sua principal fonte de dano, que são referenciadas a partir do seu ponto de impacto:

- S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- S2: descargas atmosféricas perto da estrutura;
- S3: descargas atmosféricas na linha;
- S4: descargas atmosféricas perto da linha.

Como consequência dessas descargas, são distintos três tipos de danos:

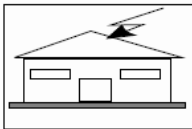
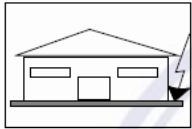
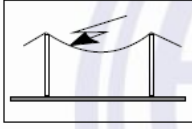
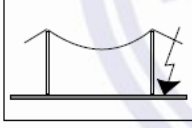
- D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- D2: danos físicos;
- D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

Desse modo, é factível para cada tipo de dano, sozinho ou em combinação, a produção de diferentes perdas associadas a uma estrutura, sendo listadas a seguir:

- L1: perda de vida humana ou ferimentos permanentes;
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valores econômicos.

A Figura 2 é responsável por associar os fatores discutidos anteriormente de forma visual:

Figura 2 – Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas conforme o ponto de impacto

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4
^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos. ^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.			

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

2.4.2 Riscos e componentes de risco

Assim como cada fonte de dano pode identificar um tipo de dano e, conseqüentemente, um tipo de perda, o risco R é um valor relativo associado a uma possível perda anual média condicionado pelos tipos de perda discutidos anteriormente. Sendo assim, para cada tipo de perda que possa ser identificada na estrutura, decorrente de um tipo de dano a partir de uma fonte de dano, o risco resultante deverá ser calculado e avaliado.

Desse modo, os riscos devem ser assinalados como:

- R_1 : risco de perda de vida humana incluindo ferimentos permanentes;

- R_2 : risco de perda de serviço ao público;
- R_3 : risco de perda de patrimônio cultural;
- R_4 : risco de perda de valores econômicos.

De modo geral, para a obtenção dos riscos, R , os componentes de risco devem ser calculados, já que cada risco, R , será a soma dos seus componentes de risco.

Objetivamente, devido ao fator de dependência que o risco possui em relação às diversas fontes de danos, onde cada uma tem a capacidade de se associar a tipos diferentes de danos, o que se tem no cálculo de um risco, R , é a somatória de cada componente de risco, obtido individualmente a partir de uma fonte de dano.

2.4.2.1 Componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S1

A gama de componentes de risco associados a uma fonte de dano S1 é composta por três elementos: R_A , R_B e R_C .

O primeiro deles, R_A , é relacionado a ferimentos aos seres vivos devido às tensões de toque e de passo dentro e fora das zonas em até 3 metros de distância dos condutores de descida. O segundo componente de risco, R_B , seria referente aos danos físicos causados por centelhamentos de alta periculosidade dentro da estrutura que teriam a chance de causar um incêndio ou explosão. Por fim, o componente risco R_C seria relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP (lightning electromagnetic impulse), pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas. Vale a ressalva que, para estes componentes de risco, cada um dos tipos de perdas, L , pode aumentar ou não influenciar a intensidade do respectivo componente de risco, dependendo também da situação em que se encontra a estrutura em análise.

2.4.2.2 Componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S2

Para as fontes de dano do tipo S2 existe apenas um componente de risco, R_M , que é idêntico ao componente de risco R_C , exceto pela origem do dano. Sendo assim, R_M é associado a falhas de sistemas internos também causados por LEMP.

2.4.2.3 Componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S3

Para os componentes de risco relativos a descargas atmosféricas na linha, e somente as linhas que adentram a estrutura, são identificados três. O primeiro, R_U , é relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico a partir de tensões de toque e de passo dentro da estrutura. Além deste, tem-se também o componente de risco R_V , relacionado a danos físicos devido a explosões ou incêndios iniciados por centelhamento perigosos entre instalações externas e partes metálicas, geralmente no ponto de entrada

da linha na estrutura, devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas. Por fim, existe também o componente de risco R_W , que é associado a falha de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que adentram a estrutura e transmitidas a mesma.

2.4.2.4 Componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S4

O único componente de risco associado a fonte de dano S4, R_Z , seria aquele relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a mesma.

2.4.3 Composição dos componentes de risco

A partir da análise e obtenção de cada um dos componentes de risco listados anteriormente, o somatório dos mesmos para cada tipo de perda na estrutura tem o seguinte aspecto:

Para o risco R_1 : risco de perda de vida humana:

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1} + R_{M1} + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1} + R_{Z1} \quad (2.1)$$

Aqui, os componentes de risco R_{C1} , R_{M1} , R_{W1} e R_{Z1} são absorvidos apenas para estruturas com risco de explosão ou para hospitais com equipamentos elétricos ou outras estruturas para salvar vidas.

Para o risco R_2 : risco de perdas de serviço ao público:

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2} \quad (2.2)$$

Para o risco R_3 : risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3} \quad (2.3)$$

Para o risco R_4 : risco de perdas de valor econômico:

$$R_4 = R_{A4} + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (2.4)$$

Aqui, os componentes de risco R_{A4} e R_{U4} são absorvidos apenas para propriedades onde animais possam ser perdidos.

A seguir, a Figura 3 sintetiza quais componentes de risco integram cada risco associado a um tipo de perda:

Figura 3 – Componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda de uma estrutura

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
Componente de risco	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Risco para cada tipo de perda								
R_1	*	*	* ^a	* ^a	*	*	* ^a	* ^a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*	*			*		
R_4	* ^b	*	*	*	* ^b	*	*	*

^a Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.

^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

2.5 Gerenciamento de Risco

A partir da construção e identificação da lógica por trás dos cálculos de cada componente de risco, além do modo com que se comportam nos riscos de cada uma das perdas, é possível relacioná-los por meio de um gerenciamento de risco consistente, que os orchestra para apresentar a real necessidade de implementação de um sistema de proteção de descargas atmosféricas, comparado aos riscos toleráveis para o tipo de perda escolhido.

Dessa forma seria condizente realizar o procedimento de gerenciamento de risco seguindo a ordem de identificação da estrutura a ser protegida e suas características; identificação dos riscos de perda, L , para a mesma e os correspondentes riscos toleráveis; avaliação do risco R para cada tipo de perda R_1 a R_4 ; avaliação da necessidade real de proteção relacionando os tipos de riscos R_1 , R_2 e R_3 , com o risco tolerável R_T .

Em muitos casos, também é avaliada a eficiência do custo da proteção em função do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção. Sendo assim, o risco R_4 é avaliado no sentido de avaliar tais custos.

Portanto, de início é necessário estabelecer a concepção da estrutura de análise para o problema. Também pela norma ABNT 5419-2, a estrutura a ser analisada inclui suas próprias dimensões físicas, suas instalações, seu conteúdo, as pessoas que estão contidas na mesma ou que estão a uma distância de até 3 metros da mesma, e o meio ambiente que poderia ser afetado pelos danos causados nessa estrutura. Ainda vale o adendo de que, dependendo da situação da estrutura e do contexto de análise empregado para o estudo da proteção, é possível subdividir a estrutura em várias zonas diferentes.

Para a identificação do risco tolerável, R_T , a norma indica a autoridade que tenha

jurisdição da estrutura como responsável pela definição do de seu valor. Para valores representativos, os quais serão utilizados para o trabalho aqui redigido. Como parâmetros indicativos, a norma estabelece números para cada um dos tipos de perda, todos demonstrados na Figura 4:

Figura 4 – Valores típicos de riscos toleráveis R_T

Tipo de perda		$R_T (y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço ao público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Na Figura 4 não se tem a contabilização do risco tolerável para o tipo de perda L_4 , já que o mesmo é discutido em um anexo a parte pela norma NBR 5419-2. No excerto aqui redigido, o tipo de perda L_4 não será trabalhado neste documento, já que o mesmo é direcionado apenas às perdas de valores econômicos associados à edificação, subtema que não colabora com enfoque da proposta elucidada neste estudo.

Determinados os riscos toleráveis para cada tipo de perda, é possível iniciar o procedimento para avaliar a real necessidade da implementação de uma proteção contra descargas atmosféricas na estrutura. Desse modo, os riscos R_1 , R_2 e R_3 devem sempre ser levados em consideração e avaliação dessa estrutura, identificando e calculando seus respectivos componentes de risco, para que ao final se obtenha o valor final para cada risco, a fim de se realizar a comparação dos mesmos referente a cada valor de risco tolerável adotado. Como resultado, o valor obtido para cada risco, comparado a cada risco tolerável correspondente, deverá ser sempre menor ou igual ao valor de seu risco tolerável para apontar a não obrigatoriedade na implementação de medidas de proteção na estrutura. Uma vez que qualquer um dos riscos analisados seja maior que o seu risco tolerável correspondente, medidas de proteção devem ser adotadas.

Acordada a necessidade de medidas de proteção para o estudo, as mesmas são direcionadas para a redução do risco conforme o tipo de dano, lembrando que as mesmas devem se enquadrar nos requisitos elencados em ambas as normas: ABNT NBR 5419-3 para a proteção contra ferimentos a seres vivos e danos físicos à estrutura e ABNT NBR 5419-4 para proteção contra falhas dos sistemas eletroeletrônicos, para que se tornem efetivas.

As medidas de proteção adequadas devem ser sempre elencadas pelo projetista, que deverá avaliar em seu estudo a participação de cada componente de risco no risco total calculado, em relação aos aspectos técnicos e econômicos das medidas. Sendo assim,

para cada tipo de perda há um número de medidas que podem atuar individualmente ou em conjunto para manter a condição de não necessidade de proteção na estrutura, $R \leq R_T$.

2.6 Análise das componentes de risco

Definidas as construções para os riscos totais utilizando as componentes de risco, o último passo é calcular cada um destes componentes por meio da equação estabelecida pela NBR 5219-2. A expressão geral de cálculo dos componentes de risco é definida abaixo, e os valores propostos para cada uma das sub variáveis serão discutidos posteriormente:

$$R_X = N_X + P_X + L_X \quad (2.5)$$

Onde:

N_X : é o numero de eventos perigosos por ano;

P_X : é a probabilidade de dano à estrutura;

L_X : é a perda consequente.

Por N_X induz-se o número de eventos perigosos influenciados pela densidade de descargas atmosféricas até a Terra (N_G) e pelas características físicas da estrutura a ser protegida, a região ao seu redor, linhas conectadas e o solo.

A probabilidade de dano P_X é afetada pelas características da estrutura de estudo, suas linhas conectadas e as medidas de proteção existentes.

Por fim, a perda consequente L_X é influenciada pela utilização designada para a estrutura em análise, assim como a frequência de pessoas presentes na mesma, o tipo de serviço fornecido ao público, o valor dos bens afetados pelos danos e as medidas oferecidas para limitar a quantidade de perdas.

2.6.1 Análise dos componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S1

Dada as configurações estabelecidas na seção anterior, os componentes de risco para fontes de dano S1 agora são configurados da seguinte maneira conforme o tipo de dano:

- Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

$$R_A = N_D \times P_A \times L_A \quad (2.6)$$

- Componente relacionado a danos físicos (D2):

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \quad (2.7)$$

- Componente relacionado à falha de sistemas internos (D3):

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \quad (2.8)$$

2.6.2 Análise dos componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S2

Seguindo o mesmo caminho, o componente de risco para fontes de dano S2 agora é configurado da seguinte maneira de acordo com o tipo de dano:

- Componente relacionado à falha de sistemas internos (D3):

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \quad (2.9)$$

2.6.3 Análise dos componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S3

Com anova configuração, os componentes de risco para fontes de dano S3 agora são configurados da seguinte maneira de acordo com o tipo de dano:

- Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico (D1):

$$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U \quad (2.10)$$

- Componente relacionado a danos físicos (D2):

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (2.11)$$

- Componente relacionado à falha de sistemas internos (D3):

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (2.12)$$

2.6.4 Análise dos componentes de risco para uma estrutura devido a uma fonte de dano S4

Por fim, o componente de risco para fontes de dano S4 agora é configurado da seguinte maneira de acordo com o tipo de dano:

- Componente relacionado à falha de sistemas internos (D3):

$$R_Z = N_l \times P_Z \times L_Z \quad (2.13)$$

2.6.5 Sumário dos componentes de risco

Com o material discutido anteriormente, é possível estabelecer na Figura 5 um diagrama representativo dispondo os componentes de risco de acordo com as fontes e tipos de danos:

Figura 5 – Componentes de risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos

Danos	Fonte de danos			
	S1 Descarga atmosférica na estrutura	S2 Descarga atmosférica perto da estrutura	S3 Descarga atmosférica na linha conectada	S4 Descarga atmosférica perto da linha conectada
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DU}) \times P_U \times L_U$	
D2 Danos físicos	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DU}) \times P_V \times L_V$	
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DU}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

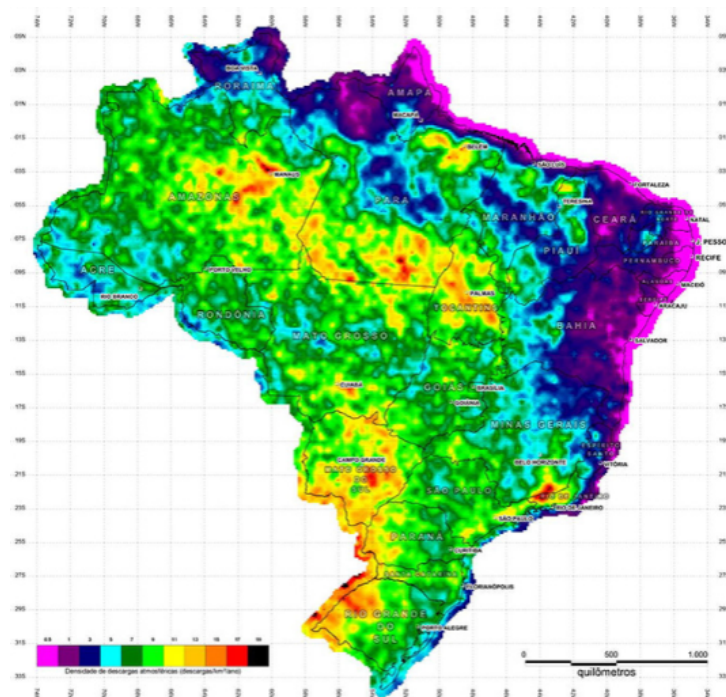
2.7 Análise do número anual N de eventos perigosos

2.7.1 Análise da densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G

Corroborando com as informações fornecidas pela norma NBR 5419-2 contidas no Anexo A, N é definido como o número médio anual de eventos perigosos devido às descargas atmosféricas que influenciam a estrutura a ser protegida. Este parâmetro, leva em consideração a influência da atividade atmosférica da região onde está compreendida a estrutura, além de suas características físicas, sendo obtido pela multiplicação entre a densidade de descargas atmosféricas para a terra, N_G , e a área de exposição equivalente da estrutura.

Pela norma, a densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G compreende o número de descargas atmosféricas por km^2 . No Brasil, esse valor é disponibilizado de duas maneiras pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). A primeira delas seria pela interpretação de um mapa do território nacional disponibilizado pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, a partir de registros de pulsos luminosos capturados do espaço durante o período de 1998 a 2011. O mapa em questão é apresentado como anexo no conteúdo da mesma norma NBR 5419-2 e está exibido na Figura 6:

Figura 6 – Mapa do Brasil - Densidade de descargas atmosféricas N_G (descargas atmosféricas/km²/ano)



Fonte: ABNT 5419-2:2015 junto ao INPE

A segunda forma disponibilizada é através do INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (s.d.), que disponibiliza um mapa de raios em tempo real permitindo ao usuário encontrar a concentração de raios em qualquer região do Brasil utilizando apenas sua ferramenta de busca:

Figura 7 – Ferramenta de mapeamento de raios no Brasil em tempo real



Fonte: (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, s.d.)

2.7.2 Análise da área de exposição equivalente A_D

A norma indica que para estruturas isoladas em solo, a área de exposição equivalente A_D é a área definida pela intersecção entre a superfície do solo com uma linha reta de inclinação 1 para 3, que deve interceptar necessariamente as partes mais altas da estrutura, sendo rotacionada ao redor da mesma. Com isso, é possível obter o valor de A_D tanto graficamente quanto matematicamente.

Também pela norma, são definidas diversas equações para a modelagem e obtenção de A_D segundo o formato da estrutura. Como neste estudo, o formato identificado pela estrutura de análise, tendo a base de distribuição de combustível como protagonista, é de formato retangular, a expressão que dita o cálculo de A_D é a seguinte:

$$A_D = L + W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2 \quad (2.14)$$

Onde:

L : é o comprimento da estrutura em metros;

W : é a largura da estrutura em metros;

H : é a altura da estrutura em metros.

2.7.3 Análise do fator de localização da estrutura C_D

Outro fator importante para a consideração do número de eventos perigosos relacionados à estrutura é a sua localização relativa, compensada pelas outras estruturas ao seu redor ou uma localização exposta. Nesse caso, o fator de localização C_D indica qual coeficiente utilizar dependendo das circunstâncias em que se encaixa a estrutura, relacionado pela Figura 8:

Figura 8 – Fator de localização da estrutura 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: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Na Figura 9, nota-se a estrutura principal localizada à esquerda da imagem, uma linha de energia ou sinal ao centro conectando a mesma a uma estrutura adjacente na direita da imagem. Esta última, por sua vez, deve ser empregada no estudo, pois a mesma além de estar conectada a estrutura principal, também acaba por gerar uma área de exposição equivalente A_{DJ} , variável que para ser calculada, deve seguir os mesmos parâmetros de cálculo da área de exposição da estrutura principal 2.14, segundo as novas variáveis para a estrutura adjacente: L_J como o comprimento da estrutura adjacente em metros, W_J como a largura da estrutura adjacente em metros, e H_J como a altura da estrutura em metros.

Para a identificação do fator de localização da estrutura adjacente C_{DJ} , segue-se a mesma tabela disponibilizada pela norma para a identificação do mesmo fator para a estrutura principal, ou seja, seguindo a relação expressa na Figura 8.

Por fim, o fator do tipo de linha C_T é apresentado pela norma através da relação dimensionada pela Figura 10:

Figura 10 – Fator do 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: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

2.7.6 Número médio anual de eventos perigosos N_M devido a descargas atmosféricas perto da estrutura

Por norma, o valor de N_M é calculado a partir da seguinte relação:

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad (2.17)$$

Sendo:

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

A_M : é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem um ponto perto da estrutura em m^2 .

Como A_M se qualifica como parte de uma área de exposição equivalente, é possível obter seu valor conforme as representações exibidas pela Figura 9. A partir desta análise, define-se então como A_M , uma área que se estende a uma linha localizada a uma distância de 500 metros do perímetro da estrutura principal, disposta matematicamente da seguinte forma:

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (2.18)$$

2.7.7 Número médio anual de eventos perigosos N_L devido a descargas atmosféricas na linha

Segunda a NBR 5419-2, uma linha pode consistir em diversas seções, onde para cada uma delas o valor de N_L pode ser definido como sendo:

$$N_L = N_G \times A_L \times C_l \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (2.19)$$

Onde:

N_L : é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1kV (1/ano) na seção da linha;

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

A_L : é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a linha em m^2 ;

C_l : é o fator de instalação da linha;

C_T : é o fator do tipo de linha;

C_E : é o fator ambiental.

Caracterizada como área de exposição equivalente, a Figura 9 contribui para a obtenção do valor de A_L , expressada por:

$$A_L = 40 \times L_L \quad (2.20)$$

Sendo L_L o comprimento da linha, expresso em metros (m). Quando o comprimento da linha é desconhecido, presume-se L_L com um valor de 1000m.

Para a identificação do fator de instalação da linha C_l , a norma estabelece uma tabela que relaciona as condições de roteamento junto a um valor de C_l , apresentados pela Figura 11:

Figura 11 – Fator de instalação da linha C_l

Roteamento	C_l
Aéreo	1
Enterrado	0,5
Cabos enterrados instalados completamente dentro de uma malha de aterramento (ABNT NBR 5419-4:2015, 5.2).	0,01

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Para o fator do tipo de linha C_T , segue-se sua identificação idêntica àquela representada na relação estabelecida pela Figura 10.

Por fim, o fator ambiental da linha C_E é obtido a partir da localização da estrutura em relação ao tipo de cenário em que a mesma se encontra. Nesse sentido, a Figura 12 abaixo estabelece um valor para cada tipo de contexto:

Figura 12 – 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: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

2.7.8 Número médio anual de eventos perigosos N_l devido a descargas atmosféricas perto da linha

Dado que uma linha pode ser repartida em diversas seções, para cada uma delas o valor de N_l pode ser avaliado como:

$$N_l = N_G \times A_l \times C_l \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (2.21)$$

Onde:

N_l : é o número de sobretensões de amplitude não inferior a 1kV (1/ano) na seção da linha;

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

A_l : é a área de exposição equivalente de descargas atmosféricas que atingem a terra perto da linha em m^2 ;

C_l : é o fator de instalação;

C_T : é o fator do tipo de linha;

C_E : é o fator ambiental.

Neste caso, a área de exposição equivalente para descargas atmosféricas perto da linha, A_l , também segue os parâmetros da Figura 9. Sendo assim, é possível definir seu valor a partir da expressão abaixo:

$$A_l = 4000 \times L_L \quad (2.22)$$

Sendo L_L novamente o comprimento da seção da linha em estudo, expresso em metros (m), de forma que seu desconhecimento pode ser tratado assumindo o valor de $L_L = 1000\text{m}$.

De maneira semelhante aos passos desenvolvidos nas seções anteriores do trabalho, o fator de instalação da linha C_l tem seu valor definido sob as circunstâncias da Figura 11, o fator do tipo de linha C_T definido a partir da Figura 10, e por fim, o fator ambiental C_E é encontrado a partir da Figura 12.

2.8 Avaliação da probabilidade P_X de danos

2.8.1 Probabilidade P_A de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar ferimentos a seres vivos por meio de choque elétrico

A norma NBR 5419-2 pontua que os valores de probabilidade P_A de choque a seres vivos por tensão de toque e passo causado por uma descarga atmosférica em uma estrutura dependem majoritariamente do SPDA adotado e das medidas de proteção adicionais. Portanto, esta variável depende de apenas dois parâmetros em sua composição:

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (2.23)$$

Nesta relação, P_{TA} atua como uma segunda probabilidade P_A , mas destoa no sentido de que considera apenas tensões de toque e de passo perigosas. Desse modo, P_{TA} é uma variável que depende apenas das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e de passo, relação apresentada pela Figura 13 abaixo, para a identificação de seu valor:

Figura 13 – Valores de probabilidade P_{TA} devido às tensões de toque e de passo perigosas

Medida de proteção adicional	P_{TA}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica (por exemplo, de pelo menos 3 mm de polietileno reticulado das partes expostas (por exemplo, condutores de descidas))	10^{-2}
Equipotencialização efetiva do solo	10^{-2}
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

2.8.2 Probabilidade P_B de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos

Seguindo o mesmo caminho, P_B é uma variável que depende do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA foi projetado, ou seja, um SPDA é adequado como medida de proteção para reduzir P_B . Seus valores são obtidos pela relação proposta pela Figura 14, sendo este o mesmo valor aplicado na Equação (2.23):

Figura 14 – Valores de probabilidade P_B

Características da estrutura	Classe do SPDA	P_B
Estrutura não protegida por SPDA	–	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	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: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

2.8.3 Probabilidade P_C de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar falha a sistemas internos

Nesta subseção, a probabilidade P_C é equacionada de um modo que evidencia a influência que recebe do parâmetro P_{SPD} , relacionado à adoção de um sistema coordenado de DPS, portanto, para uma melhor visualização e ilustração sobre o DPS e seu funcionamento, verificar o Apêndice A. Ademais, a expressão que relacionado ambos os fatores é dado por:

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \quad (2.24)$$

Entende-se por P_{SPD} uma variável que tem seu valor alterado conforme o sistema coordenado de DPS e do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para qual o mesmo foi projetado¹, relação expressada pela Figura 15:

Figura 15 – Valores de probabilidade P_{SPD} conforme o nível de proteção NP para qual o DPS foi projetado

NP	P_{SPD}
Nenhum sistema de DPS coordenado	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

¹ Apesar de um limite de nível de proteção NP sendo igual a I, é possível reduzir ainda mais o valor de P_{SPD} , entre 0,005 - 0,001, caso os DPS tenham características melhores de proteção, como uma corrente nominal maior, comparados com os requisitos definidos para NP I

Por C_{LD} , tem-se um fator dentro da equação que depende das condições de blindagem, aterramento e isolamento da linha à qual o sistema interno está conectado. Já o parâmetro C_{LI} é um fator que depende das condições de blindagem, do aterramento e da isolação da linha. Seus valores e contextos estão identificados pela Figura 16 abaixo:

Figura 16 – Valores dos fatores C_{LD} e C_{LI} conforme as 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 multiterrado	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
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: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

2.8.4 Probabilidade P_M de uma descarga atmosférica perto de uma estrutura causar falha em sistemas internos

Para a probabilidade P_M , a norma estabelece uma relação de dependência entre a mesma e as medidas de proteção contra surtos adotadas no estudo em questão. Por isso, um SPDA em malha, blindagens com malha, precauções de roteamento, tensão suportada aumentada, interfaces isolantes, ou até um sistema de coordenação de DPS são adequados como medidas para a redução de P_M . Nesse sentido, três condições são propostas para a variável, a primeira delas ocorre quando não existe um sistema de coordenação de DPS instalado:

$$P_M = P_{MS} \quad (2.25)$$

Já a segunda condição ocorre somente na situação contrária à primeira, onde se tem um sistema de coordenação de DPS instalado:

$$P_M = P_{MS} \times P_{SPD} \quad (2.26)$$

A última condição se refere a situações onde os equipamentos dos sistemas internos não estão em conformidade com os padrões propostos pela norma ABNT NBR 5419-4. Nesse caso, tem-se $P_M = 1$.

Os valores de P_{MS} são obtidos da seguinte forma:

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2 \quad (2.27)$$

Nesta relação, K_{S1} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha da estrutura, SPDA, ou qualquer outra blindagem na interface ZPR. Por outro lado, K_{S2} leva em consideração a eficiência da blindagem por malha de blindagem interna à estrutura na interface ZPR. Ademais, ambos são definidos pelos seus respectivos fatores de blindagem em metros, w_{m1} e w_{m2} , respectivamente, que podem assumir valores relacionados às larguras da blindagem em forma de grade, largura dos condutores de descidas do SPDA tipo malha, o espaçamento entre as colunas metálicas da estrutura, ou até o espaçamento entre as estruturas de concreto armado atuando como um SPDA natural:

$$K_{S1} = 0,12 \times w_{m1} \quad (2.28)$$

$$K_{S2} = 0,12 \times w_{m2} \quad (2.29)$$

O fator K_{S3} leva em consideração as características da fiação interna da estrutura de análise, segundo a relação exposta pela Figura 17:

Figura 17 – Valor de K_{S3} conforme a fiação interna

Tipo de fiação interna	K_{S3}
Cabo não blindado – sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^a	1
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar grandes laços ^b	0,2
Cabo não blindado – preocupação no roteamento no sentido de evitar laços ^c	0,01
Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos ^d	0,000 1

^a Condutores em laço com diferentes roteamentos em grandes edifícios (área do laço da ordem de 50 m²).
^b Condutores em laço roteados em um mesmo eletroduto ou condutores em laço com diferentes roteamentos em edifícios pequenos (área do laço da ordem de 10 m²).
^c Condutores em laço roteados em um mesmo cabo (área do laço da ordem de 0,5 m²).
^d Blindados e eletrodutos metálicos interligados a um barramento de equipotencialização em ambas extremidades e equipamentos estão conectados no mesmo barramento equipotencialização.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Por fim, o fator K_{S4} é avaliado por:

$$K_{S4} = \frac{1}{U_W} \quad (2.30)$$

Sendo U_W a tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido, expressa em quilovolts (kV).

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

As características da blindagem da linha, da tensão suportável de impulso dos sistemas internos conectados à linha, das medidas de proteção como restrições físicas ou avisos de alerta e interfaces isolantes, ou DPS utilizados para a ligação equipotencial na entrada da linha consoante as regras e condições estabelecidas pela norma NBR 5419-3, são os fatores que definem, ou que influenciam, a margem de valores assumidos por P_U :

$$P_U = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (2.31)$$

A variável P_{TU} depende diretamente das medidas de proteção contra tensões de toque, como restrições físicas ou avisos visíveis de alerta. Seus valores são relacionados a cada contexto conforme a Figura 18 abaixo:

Figura 18 – Valores da probabilidade P_{TU} conforme as medidas de proteção

Medida de proteção	P_{TU}
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos visíveis de alerta	10^{-1}
Isolação elétrica	10^{-2}
Restrições físicas	0

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Por sua vez, a variável² P_{EB} depende das ligações equipotenciais para descargas atmosféricas (EB) e do nível de proteção contra estas mesmas descargas (NP) para o qual o DPS foi projetado, associação proposta pela Figura 19:

² Apesar de um limite de nível de proteção NP sendo igual a I, é possível reduzir ainda mais o valor de P_{EB} , entre 0,005 - 0,001, caso os DPS tenham características melhores de proteção, como uma corrente nominal maior, comparados com os requisitos definidos para NP I

Figura 19 – Valores da probabilidade P_{EB} de acordo com NP definido na projeção do DPS

NP	P_{EB}
Sem DPS	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Influenciada pelas características da linha, a probabilidade P_{LD} de falhas de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica na linha conectada é definida por meio da relação estabelecida pela Figura 20:

Figura 20 – Valores da probabilidade P_{LD} de acordo a resistência R_S da blindagem do cabo e da tensão suportável do impulso U_W do equipamento

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

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Ao final, tem-se C_{LD} que já foi apresentado nas seções anteriores, influenciando outra probabilidade. O mesmo pode ser encontrado e definido por meio da Figura 16.

2.8.6 Probabilidade P_V de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos

De maneira análoga, a probabilidade P_V de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos é definida nos mesmos moldes da probabilidade P_U de uma descarga atmosférica em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico. A única exceção é de que, em sua concepção, não é levada em consideração a variável P_{TU} , responsável por fornecer as informações referentes à influência das medidas de proteção contra tensões de toque. Desse modo, a mesma é definida no seguinte modelo:

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (2.32)$$

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

Para a construção da expressão que define a probabilidade P_W , serão utilizadas variáveis e parâmetros semelhantes à probabilidade P_V de uma descarga atmosférica em uma linha causar danos físicos. Entretanto, ao invés de utilizar o fator P_{EB} relacionada às ligações equipotenciais para descargas atmosféricas, será utilizado novamente o fator P_{SPD} , correlacionando o sistema de coordenação do DPS e o nível de proteção contra descargas atmosféricas em que o DPS foi projetado. Deste modo:

$$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD} \quad (2.33)$$

2.8.8 Probabilidade P_Z de uma descarga atmosférica perto de uma linha que entra na estrutura causar falhas de sistemas internos

Os valores da probabilidade P_Z dependem exclusivamente das características da blindagem da linha, da tensão suportável do impulso do sistema conectado à linha e das interfaces de isolamento, ou ainda do sistema coordenado de DPS instalado. Desta forma:

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI} \quad (2.34)$$

Entende-se por P_{LI} a probabilidade referente à falha de sistemas internos devido a uma descarga atmosférica perto de uma linha conectada, sendo os seus valores identificados na Figura 21 abaixo:

Figura 21 – Valores da probabilidade P_{LI} conforme o tipo de linha e da tensão suportável e impulso U_W dos equipamentos

Tipo da linha	Tensão suportável U_W em kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Linhas de energia	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Linhas de sinais	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

2.9 Avaliação da quantidade de perda L_X

A norma ABNT NBR 5419-2 recomenda que se utilize valores de quantidade de perda L_X parametrizados pelo projetista responsável pelo estudo e aplicação do SPDA, mas também utiliza um anexo para elucidar os valores médios típicos de cada variável, valores estes propostos pela International Electrotechnical Commission (IEC).

A perda L_X refere-se à quantidade relativa média de um tipo particular de dano para um evento perigoso causado por descargas atmosféricas. Portanto, o valor de L_X varia sua composição e sua consequente expressão matemática, a partir de cada tipo de perda levada em consideração: $L1$ e o número de pessoas em perigo (vítimas); $L2$ e o número de usuários não servidos; $L3$ e o valor econômico em perigo da estrutura e seu conteúdo; $L4$ e o valor econômico em perigo de animais, estrutura, conteúdo e sistemas internos.

2.9.1 Perda de vida humana $L1$

Para a determinação de $L1$, considera-se que a perda de vida humana é afetada pelas características da zona, sendo que o tempo em horas por ano durante o qual as pessoas estão presentes na zona pode ser reduzido, diminuindo assim a chance de perda. Com isto, a relação proposto pela Figura 22 explicita os valores de perda para cada tipo de dano, em função do tipo de perda $L1$:

Figura 22 – Tipo de perda $L1$: Valores de perda para diferentes tipos de dano

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D1	$L_A = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.1)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.2)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.3)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z / n_t \times t_z / 8\,760$	(C.4)

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Como valores a serem definidos no momento do estudo dentro da concepção do projetista responsável, n_z simboliza o número de pessoas dentro da zona, n_t o número de pessoas dentro da estrutura, e t_z o tempo durante o qual existem pessoas dentro da zona em horas por ano. Ainda nesta relação, são expressos dois tipos de equações de perdas típicas diferentes, L_A e L_U , que possuem as mesmas componentes em sua composição para um mesmo tipo de dano $D1$. Esta separação ocorre pelo fato de cada uma delas pertencer a equações de risco diferentes, R_A e R_U , respectivamente. O fator L_T representa o número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico ($D1$), L_F é o número relativo médio típico de vítimas por dano físicos ($D2$), e L_O o número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos ($D3$). A Figura 23 apresenta valores de perda típicos para estes parâmetros, em relação a cada tipo de estrutura:

Figura 23 – Valores médios típicos de L_T , L_F e L_O

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

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Além disso, também é notável a presença do fator de redução r_t , responsável pela redução de perda de vida humana dependendo do tipo de solo ou piso, assim como demonstrado na Figura 24:

Figura 24 – Fator de redução r_t

Tipo de superfície ^b	Resistência de contato $k \Omega^a$	r_t
Agricultura, concreto	≤ 1	10^{-2}
Marmore, cerâmica	$1 - 10$	10^{-3}
Cascalho, tapete, carpete	$10 - 100$	10^{-4}
Asfalto, linóleo, madeira	≥ 100	10^{-5}
^a Valores medidos entre um eletrodo de 400 cm^2 comprimido com uma força uniforme de 500 N e um ponto considerado no infinito.		
^b Uma camada de material isolante, por exemplo, asfalto, de 5 cm de espessura (ou uma camada de cascalho de 15 cm de espessura) geralmente reduz o perigo a um nível tolerável.		

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Como um segundo fator de redução, tem-se r_p referente as reduções de perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio, relação exibida pela Figura 24:

Figura 25 – Fator de redução r_p

Providências	r_p
Nenhuma providência	1
Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	0,5
Uma das seguintes providências: instalações fixas operadas automaticamente, instalações de alarme automático ^a	0,2
^a Somente se protegidas contra sobretensões e outros danos e se os bombeiros puderem chegar em menos de 10 min.	

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

E, como último fator, leva-se em consideração r_f , que se relaciona a redução da perda devido a danos físicos dependendo do risco de incêndio ou de explosão da estrutura, como mostrado na Figura 26:

Figura 26 – Fator de redução r_f

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: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Como fator adicional que apenas participa da construção da equação quando algum tipo de perigo especial entra em vigor com a possibilidade de gerar danos físicos, h_z é definido conforme a Figura 27:

Figura 27 – Fator de redução h_z

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

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

2.9.2 Perda inaceitável de serviço ao público L2

Para o tipo de perda $L2$ é considerado que a perda de serviço público é afetada pelas características da zona da estrutura, sendo r_f e r_p os fatores responsáveis por relacionar esse ponto na equação. Dessa forma, os valores de $L2$ são expressos na Figura 28 a seguir:

Figura 28 – Tipo de perda L2: Valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Perda típica	Equação
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z/n_t$	(C.7)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z/n_t$	(C.8)

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Seguindo os mesmos moldes da seção anterior, L_F identificará na equação o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultantes de danos físicos D2, enquanto L_O será o número relativo médio típico de usuários não servidos, resultantes das falhas de sistemas internos (D3) devido a um evento perigoso. Ambos são identificados por meio da Figura 23.

Partindo dos mesmos princípios de construção para a perda $L1$, os fatores de redução da perda devido a danos físicos dependendo das providências tomadas para reduzir as consequências de incêndio e do próprio incêndio, r_p e r_f respectivamente, são identificados pela Figura 25 para r_p , e pela Figura 26 para r_f .

Novamente, tem-se n_z caracterizando o número de usuários servidos pela zona e n_t como o número total de usuários servidos pela estrutura.

2.9.3 Perda inaceitável de patrimônio cultural L3

A norma recomenda que para cada tipo de perda L_X seja determinado conforme a Figura 29 abaixo:

Figura 29 – Tipo de perda L3: Valores de perda para cada zona

Tipo de dano	Valor típico da perda	Equação
D2 danos físicos	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times c_z / c_t$	(C.9)

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Sendo L_F o valor relativo médio típico de todos os valores atingidos pelos danos físicos (D2) devido a um evento perigoso que assumirá o valor constante de 10^{-1} para museus ou galerias como sendo o tipo de estrutura de análise. Além disso, r_p será definido também pela Figura 25 e r_f pela Figura 26. Por fim, tem-se c_z como o valor do patrimônio cultural da zona, e c_t o valor total da edificação e conteúdo da estrutura, somando todas as zonas.

2.9.4 Perda econômica L4

Em relação às perdas econômicas, o valor L_X para cada zona pode ser determinado consoante as relações estabelecidas pela Figura 30 seguir:

Figura 30 – Tipo de perda L4: Valores de perda para cada zona

Tipo de danos	Perda típica	Equação
D1	$L_A = \eta \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.10)
D1	$L_U = \eta \times L_T \times c_a / c_t^a$	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t^a$	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t^a$	(C.13)

^a As relações c_a / c_t e $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ e c_s / c_t devem somente ser consideradas nas equações (C.10) – (C.13), se a análise de risco for conduzida de acordo com 6.10, usando o Anexo D. No caso de utilizar um valor representativo para o risco tolerável R4 de acordo com a Tabela 4, as relações não podem ser levadas em consideração. Nestes casos, as relações devem ser substituídas pelo valor 1.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Dadas as considerações anteriores, os valores relativos médios típicos L_T , L_F e L_O serão encontrados por meio das relações exibidas abaixo pela Figura 31:

Figura 31 – Tipo de perda L4: Valores médios típicos L_T , L_F e L_O

Tipo de danos	Valor de perda típico		Tipo de estrutura
D1 ferimento devido a choque	L_T	10^{-2}	Todos os tipos onde somente animais estão presentes
D2 danos físicos	L_F	1	Risco de explosão
		0,5	Hospital, industrial, museu, agricultura
		0,2	Hotel, escola, escritório, igreja, entretenimento público, comercial
		10^{-1}	Outros
D3 falha de sistemas internos	L_O	10^{-1}	Risco de explosão
		10^{-2}	Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial
		10^{-3}	Museu, agricultura, escola, igreja, entretenimento público
		10^{-4}	Outros

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b)

Já para os fatores de redução de perda r_t , r_p e r_f serão identificados pelas respectivas Figuras 24, 25 e 26.

Nesta equação, são adicionados novos termos, responsáveis por impor à expressão os valores dos componentes presentes dentro da zona ou da estrutura. Nesta ordem, tem-se c_a como o valor dos animais presentes na zona; c_b o valor da edificação relevante à zona; c_c o valor do conteúdo da zona; c_s valor dos sistemas internos incluindo suas atividades dentro desta zona; c_t o valor total da estrutura (soma de todas as zonas para animais, edificação, conteúdo e sistemas internos incluindo suas atividades).

2.10 Introdução à ABNT NBR 5419-3:2015

Realizando uma introdução a norma, verifica-se que a mesma é responsável por definir e estabelecer os requisitos para a proteção de uma estrutura contra danos físicos por meio de um SPDA, e para a proteção dos seres vivos contra lesões causadas pelas tensões de toque e passo nas vizinhanças de um SPDA. Segundo a norma, as características de um SPDA serão determinadas pelas características da estrutura a ser protegida e pelo nível de proteção considerado para descargas atmosféricas. Deste modo, se uma determinada estrutura recebeu um nível de proteção I, durante a análise de risco, a mesma deve receber a implementação de um SPDA de classe também I, o mesmo ocorre para uma instalação que recebeu um nível de proteção II e deverá receber como instalação um SPDA de classe II, e assim por diante.

Ainda segundo a norma, um SPDA externo é projetado para interceptar as descargas atmosféricas diretas à estrutura, e conduzir a corrente da descarga atmosférica do ponto de impacto à terra. Ou seja, o SPDA externo acaba por realizar três funções bem específicas

e extraordinariamente importantes umas às outras, e ao próprio SPDA, a primeira delas realizando a captura direta da corrente da descarga atmosférica a partir do ponto de contato entre descarga e estrutura, a segunda seria realizar o transporte dessa corrente até o solo passando pela própria estrutura ou não, e por fim, realizar a dispersão dessa corrente na terra sem causar qualquer tipo de dano ou centelhamento no processo, sendo esta a última função. Deste modo, um sistema de SPDA externo pode ser dividido em três subsistemas que identificam cada uma destas funções: o subsistema de captação, o subsistema de descida, e o subsistema de aterramento.

2.10.1 Subsistema de captação

Apropriadamente instalado, o subsistema de captação reduz consideravelmente a probabilidade de penetração da corrente da descarga atmosférica na estrutura. Entre sua composição, este subsistema pode ser composto individualmente ou em conjunto de qualquer um dos seguintes materiais: hastes (incluindo mastros), condutores suspensos e condutores de malha. Além disso, a norma resguarda que essa proteção só é garantida e alcançada quando todos os componentes do subsistema de captação são posicionados corretamente, sendo este o fator primordial de determinação do volume de proteção da estrutura. No caso da utilização de captadores individuais, os mesmos devem ser interconectados ao nível da cobertura para assegurar a divisão da corrente em pelo menos dois caminhos.

Para o posicionamento, a norma recomenda a instalação dos componentes nos cantos salientes da estrutura, pontas expostas e nas beiradas (especialmente no nível superior de qualquer fachada) de acordo com um ou mais dos seguintes métodos:

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

Os métodos da esfera rolante e das malhas são adequados em todos os casos, situação que não ocorre em relação ao método do ângulo de proteção que sofre com alguns limites de altura, limites estes que as estruturas analisadas no estudo respeitam e se adéquam. O adequado posicionamento do subsistema de captação segundo o método da esfera rolante ocorre se nenhum ponto da estrutura a ser protegida entrar em contato com uma esfera fictícia rolando ao redor e no topo da estrutura em todas as direções possíveis. Nesse sentido, a esfera somente poderá tocar o próprio subsistema de captação. Em relação ao posicionamento realizado por meio do método das malhas, deve-se realizar a alocação dos captadores na periferia da cobertura da estrutura, das saliências da cobertura da estrutura e/ou nas cumeeiras dos telhados quando o declive excede 1/10 (um de desnível por 10

metros de comprimento). Ademais, a norma exige que a corrente elétrica captada sempre encontre pelo menos duas rotas condutoras distintas para o subsistema de aterramento, além de propor o caminho mais curto e mais retilíneo possível para os condutores da malha. Para o método do ângulo de proteção algumas segue-se uma associação entre o ângulo de proteção para uma determinada altura H da edificação somada a altura do captor.

2.10.2 Subsistema de descida

Com propósito semelhante ao subsistema de captação, de reduzir a probabilidade de danos devido à corrente da descarga atmosférica fluindo pelo SPDA, os condutores de descida devem ser arranjos de modo a proverem diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica, o menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica, e a equipotencialização com as partes condutores de uma estrutura atendendo os requisitos da norma ABNT NBR 5419-3. Para uma melhor distribuição de corrente elétrica das descargas atmosféricas, devem ser consideradas interligações horizontais com os condutores de descida, como já é feito ao nível do solo pelo anel de aterramento, em intervalos de 10 metros a 20 metros, entretanto, como as edificações em análise não ultrapassam esses limites em altura, não será aplicado esse conceito. Além disso, a norma alerta que quanto maior for o número de condutores de descida instalados maior será a redução da probabilidade de centelhamentos perigosos facilitando a proteção das instalações internas, sendo assim, a mesma também recomenda um condutor de descida para cada canto saliente da estrutura, preferencialmente, além dos demais condutores requisitados pela distância segura calculada entre os mesmos.

2.10.3 Subsistema de aterramento

Segundo a norma, do ponto de vista da proteção contra descargas atmosféricas, uma única infraestrutura de aterramento integrada é preferível e adequada para todos os propósitos, ou seja, em uma situação ideal, o eletrodo deve ser comum e atender à proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de energia elétrica e sinal (telecomunicações, TV a cabo, dados, entre outros). Como condição geral no arranjo de aterramento, na impossibilidade do aproveitamento das armaduras das fundações, o arranjo a ser utilizado consiste em um condutor em anel, externo à estrutura a ser protegida, em contato com o solo por pelo menos 80% do seu comprimento total. Para a fixação dos condutores do SPDA, deve ser respeitada uma distância máxima de 1 metro para condutores flexíveis ou rígidos na horizontal e 1,5 metros para condutores flexíveis ou rígidos na vertical. O número de conexões entre os condutores deve ser o menor possível, utilizando soldas exotérmicas ou elétricas. Não são permitidas emendas em cabos de descida. Além disso, a norma recomenda a instalação dos eletrodos de aterramento em anel, sendo enterrados na profundidade de no mínimo 0,5 m, de modo a ficar posicionado à distância de 1 m ao redor das paredes externas. Estes

mesmos eletrodos também devem ser alocados a fim de permitir sua inspeção durante a construção.

Segundo o Anexo D, também da norma NBR 5419-3, que identifica informações adicionais para o SPDA no caso de estruturas com risco de explosão, tanques de armazenamento de combustíveis ou líquidos que podem produzir vapor inflamável normalmente são autoprotetidos e não requerem proteção adicional, além de não necessitarem de um subsistema de captação quando já se encontram em contato direto com o solo. Para tanques ou contêineres individuais e metálicos, caso que contempla a estrutura em análise, devem ser ligados ao eletrodo de aterramento dependendo de suas dimensões horizontais: duas interligações equidistantes no mínimo quando comporta um comprimento de 20 metros, e duas interligações somadas a uma interligação adicional a cada 10 metros de perímetro, também dispostas de forma equidistantes.

2.11 Considerações finais

Nesta seção serão feitas algumas pausas na linha de raciocínio a fim de organizar todas as variáveis e parâmetros discutidos até aqui. De início, foram introduzidos os principais termos e definições que regem e que ditam os caminhos tomados pelo estudo de caso que será feito em relação à estrutura de análise proposta, neste caso, uma base de distribuição de combustível. Portanto, o excerto redigido até o momento visou principalmente introduzir o leitor à dinâmica de definição e organização de variáveis e parâmetros, caminhando para a compreensão, absorção e relacionamento destes fatores em função da estrutura de estudo, de modo que se pudesse evidenciar de maneira clara e concisa, sobre como cada um destes valores discutidos podem representar uma determinada característica da estrutura.

Nesta linha de raciocínio, introduziu-se, primeiramente, os principais termos e definições presentes na norma ABNT NBR 5419-2:2015, que rege os estudos referentes a esse tipo de análise ao gerenciamento de risco das construções, apresentando conceitos principais relacionadas às fontes de danos, tipos de danos e os tipos de perdas, além dos riscos e componentes de risco envolvidas devido a cada fonte de danos. Em seguida, para cada um destes riscos, foi deduzida uma fórmula matemática rearranjando as componentes de risco pertencentes a um destes determinados tipos de risco.

Logo após as definições de comportamento de cada risco serem estabelecidas, a ideia que abrange o gerenciamento de risco foi pontuada e discutida. Primeiramente, definiu-se o conceito e os valores do risco tolerável, e a maneira com a qual se exprime as componentes de risco, sendo cada uma delas compostas por uma componente relacionando o número de eventos perigosos no ano, a probabilidade de dano à estrutura e a perda consequente. A depender do ponto de impacto da descarga atmosférica, do tipo e fonte de dano, além das perdas envolvidas em cada cenário, as componentes de risco e suas sub variáveis tomam diferentes traçados e configurações, sendo cada uma dessas possíveis combinações

explicadas e discutidas ao longo do trabalho.

Terminadas as elucidações, é necessário construir uma forma ágil e prática de relacionar cada um dos termos apresentados até este ponto, de forma clara e intuitiva, para que a linha de análise do estudo não se perca ao longo de sua construção, tarefa esta que será solucionada na próxima etapa do documento. Ao fim, será possível indicar e discutir quais os valores alcançados devem ser corrigidos a partir da implementação de um SPDA e quais as medidas de proteção terão o melhor custo-benefício e desempenho, baseadas nas reduções dos riscos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Elaboração da planilha de gerenciamento de risco

Como forma de reunir, relacionar e automatizar todo o cálculo trabalhado na etapa anterior do trabalho, foi viável elaborar uma planilha no software Microsoft Excel que pudesse receber os dados referentes à estrutura introduzidos pelo projetista, computar e redirecioná-los às fórmulas definidas neste documento devidamente traduzidas para a linguagem do programa, e exibir ao final uma relação entre os riscos encontrados para a estrutura e os riscos toleráveis dispostos para a mesma.

Esta planilha de gerenciamento de risco será composta por meio de 5 campos principais. Nestes campos, serão introduzidos os dados do projeto segundo a análise do projetista de acordo com sua análise, como, por exemplo, as dimensões da estrutura, as medidas de proteção existentes, os fatores de do tipo de linha e de instalação, dentre outros. Todos esses valores serão utilizados pelas equações introduzidas nas planilhas e serão de suma importância para a definição dos valores dos riscos. Estes campos serão abordados de maneira individual posteriormente nesta seção, sendo um deles responsável pelas características gerais da estrutura outro responsável pelas características gerais da linha de energia da estrutura; o terceiro responsável pelas características gerais da linha de sinal da estrutura; o quarto campo responsável pelas características gerais da zona externa da estrutura; e por último um dos campos será responsável pelas características gerais da zona interna da estrutura. Além dos 5 campos principais, a planilha possui alguns campos de suporte de cálculo, que receberão os dados introduzidos nos campos principais e emitirão as respectivas componentes associadas a eles, tomando por base as equações de cada componente introduzidas no programa. Dentre estes campos de suporte estão: o de exposição equivalente da estrutura e das linhas referente as áreas; o de números de eventos perigosos; o de cálculo de perda típica de acordo com cada tipo de perda L; e o de exposição equivalente da estrutura e das linhas referente as probabilidades. Como último campo, sendo este o principal, tem-se o campo de resultados responsável por indicar os valores dos risco obtidos através dos cálculos e compará-los com os valores toleráveis dispostos pela norma, assumindo individualmente um tipo de perda para cada análise.

3.1.1 Concepção dos campos de inserção de dados da planilha

O primeiro dos 5 campos principais de inserção de dados na planilha possuirá 10 parâmetros a serem definidos e computados pelo projetista. Dentre os parâmetros a serem calculados está o fator de densidade de descargas atmosféricas para a terra N_G . Como visto anteriormente, é possível estabelecer seu valor utilizando tanto disponibilizados dentro da norma NBR 5419-2 traduzido na Figura 6, quanto os dados do INPE através de seu website, sendo este o processo escolhido para o início do estudo. Logo após a definição

de N_G , são identificadas as dimensões da estrutura analisada, L , W e H , assim como discutido na Seção 2.7.2, identificando também o fator de localização da estrutura C_D , visto os valores da Figura 8. Outros parâmetros a serem definidos ainda neste momento inicial são os referentes à ligação equipotencial presente na estrutura, P_{EB} , e à blindagem espacial externa, K_{S1} , sendo o primeiro relacionado pela Figura 19, e o segundo pela Equação 2.28, respectivamente. Nesta etapa, também são identificadas a possibilidade de risco de explosão presente na estrutura, ou ainda se a mesma atua como um hospital onde as falhas dos sistemas internos podem apresentar riscos colocando em perigo a vida humana, além do risco de perda de animais, caso exista algum animal dentro dela, assim como são apresentadas as notas a e b da Figura 3. Por último, como fator mais importante, é definido o SPDA presente na estrutura, associado ao parâmetro P_B na Figura 14. O fator presença de SPDA tem sua importância baseada nos seus valores de contribuição para as equações associadas ao risco tolerável. Portanto, uma vez que toda a planilha se encontre totalmente preenchida, é necessário retornar a esse subcampo e pontuar as condições de SPDA da estrutura desde o nível mais básico de proteção deste SPDA, até o SPDA com o maior nível de proteção possível. Desta forma, a cada nova inserção de SPDA, por meio de tentativa e erro, a planilha terá a capacidade de gerar novos valores de risco, permitindo ao projetista da análise comparar a cada inserção esse risco com os valores de risco toleráveis, garantindo que um SPDA com nível de proteção alto não seja, de maneira desnecessária, introduzido a uma instalação que não oferece um risco ou um perigo proporcional ao mesmo, como seria o caso de instalação de um SPDA com nível de proteção classe I para uma residência comum não maior que 5 metros de altura cercada por prédios de mais de 60 metros. Assim, o cenário oposto também é coibido, garantindo a não instalação de um SPDA com nível de proteção classe IV para uma estrutura inserida em uma área classificada, como a base de distribuição de combustíveis aqui estudada. Com isto, o design gráfico na planilha é exposto a seguir, conforme a Figura 32, para uma melhor visualização:

Figura 32 – Características gerais da estrutura

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ESTRUTURA				
PARÂMETRO	SÍMBOLO	REFERÊNCIA	DEFINIÇÕES	VALOR
Densidade de descargas atmosféricas	N_G	INPE	http://www.inpe.br/webelat/homepage/	
Dimensões da estrutura	L	m	N.A.	
	W	m	N.A.	
	H	m	N.A.	
Fator de localização da estrutura	C_D	FIGURA 8	Estrutura cercada por objetos mais altos	
SPDA	P_B	Figura 14	Estrutura protegida por SPDA (Classe I)	
Ligação equipotencial	P_{EB}	Figura 19	I	
Blindagem espacial externa	K_{S1}	EQ. 2.28	$K_{S1} = 0,12 \times WM1$	
Nota A	-	FIGURA 3	Estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana	
Nota B	-	FIGURA 3	Propriedade onde animais possam ser perdidos	

Fonte: Autor

Vale destacar que os valores que aparecem na coluna DEFINIÇÕES são meramente ilustrativos neste momento, apenas contribuindo para a construção visual e lógica da planilha, e será trabalhado posteriormente em uma futura seção adaptando os reais dados do modelo do posto de combustíveis.

Dentro da lacuna REFERÊNCIA presente na Figura 32 é apresentado o indicativo da localização de cada variável do respectivo campo dentro deste trabalho. Além disso, em muitos dos casos, a lacuna DEFINIÇÕES apresentará uma lista suspensa de opções a serem escolhidas para definir aquele parâmetro, a fim de facilitar sua identificação, associando a opção escolhida ao determinado valor que ela representa na tabela indicativa responsável por ela que está inserida dentro das outras abas da planilha, retornando assim o respectivo número de correspondência na coluna VALOR. Desta forma, por exemplo, a mudança constante do valor de P_B se torna mais prática, assim como mostra a Figura 33:

Figura 33 – Exemplo de lista suspensa

SPDA	PB	FIGURA 14	Estrutura protegida por SPDA (Classe IV)	0,20
Ligação equipotencial	PEB	FIGURA 19	Estrutura não protegida por SPDA	0,01
Blindagem espacial externa	Ks1	EQ. 2.28	Estrutura protegida por SPDA (Classe IV)	1,0
Nota A	-	FIGURA 3	Estrutura protegida por SPDA (Classe III)	Sim
			Estrutura protegida por SPDA (Classe II)	
			Estrutura protegida por SPDA (Classe I)	
			Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I e uma estrutura metálica contínua	
			Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação, possivelmente incluindo compon	

Fonte: Autor

O segundo campo principal da planilha de gerenciamento, exposto pela Figura 34, é responsável pelas características gerais da linha de "energia". Desta forma, neste campo é possível inserir o valor de comprimento da linha L_L , seus respectivos fatores de instalação, de tipo de linha e ambiental, C_I , C_T e C_E nesta ordem. A tensão suportável U_W dos sistemas internos também é definida neste campo, assim como o tipo da linha P_{LI} , a blindagem da linha P_{LD} , e o conjunto blindagem, aterramento e isolamento, definidos por C_{LD} e C_{LI} . Por fazer referência apenas à linha de energia, neste campo ainda devem ser inseridas as dimensões da estrutura adjacente a estrutura principal, L_J , W_J e H_J , caso a mesma se faça presente, bem como seu fator de localização, C_{DJ} na Figura 34:

Figura 34 – Características gerais da linha de energia

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA LINHA "ENERGIA"				
PARÂMETRO	SÍMBOLO	REFERÊNCIA	DEFINIÇÕES	VALOR
Comprimento	LL	m	N.A.	
Fator de instalação	C _i	FIGURA 11	Enterrado	
Fator de tipo de linha	C _T	FIGURA 10	Linha de energia ou sinal	
Fator ambiental	C _E	FIGURA 12	Rural	
Tensão suportável dos sistemas internos	U _w	KV	N.A.	
Tipo da linha	P _{Li}	FIGURA 21	Linhas de energia - Tensão suportável de 4KV	
Blindagem da linha	P _{Lb}	FIGURA 20	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento - Tensão suportável de 4KV	
Blindagem, aterramento, isolamento	C _{Lb}	FIGURA 16	Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	
	C _{Li}			
Estrutura adjacente	LJ	m	N.A.	
	WJ	m	N.A.	
	HJ	m	N.A.	
Fator de localização da estrutura adjacente	C _{oJ}	FIGURA 8		

Fonte: Autor

Sabendo que ambas as linhas que adentram a estrutura interferem no estudo de riscos no caso de uma possível descarga atmosférica para a terra, é conveniente estender um campo da planilha também para a análise das características gerais de uma linha de "sinal". Este campo deve conter os mesmos parâmetros daqueles identificados no campo principal referente a linha de "energia". Assim sendo, a configuração do terceiro campo principal da planilha está de acordo com a Figura 35:

Figura 35 – Características gerais da linha de sinal

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA LINHA "SINAL"				
PARÂMETRO	SÍMBOLO	REFERÊNCIA	DEFINIÇÕES	VALOR
Comprimento	LL	m	N.A.	
Fator de instalação	C _i	FIGURA 11	Enterrado	
Fator de tipo de linha	C _T	FIGURA 10	Linha de energia ou sinal	
Fator ambiental	C _E	FIGURA 12	Suburbano	
Tensão suportável dos sistemas internos	U _w	KV	N.A.	
Tipo da linha	P _{Li}	FIGURA 21	Linhas de sinais - Tensão suportável de 1,5KV	
Blindagem da linha	P _{Lb}	FIGURA 20	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento - Tensão suportável de 1,5KV	
Blindagem, aterramento, isolamento	C _{Lb}	FIGURA 16	Cabo protegido contra descargas atmosféricas ou cabeamento em dutos para cabos protegido contra descargas atmosféricas, eletrodutos metálicos ou tubos metálicos	
	C _{Li}			
Estrutura adjacente	LJ	m	N.A.	
	WJ	m	N.A.	
	HJ	m	N.A.	
Fator de localização da estrutura adjacente	C _{oJ}	FIGURA 8		

Fonte: Autor

Em seguida, foi construído um quarto campo de análise criado especialmente para as características gerais da zona externa. Este, por sua vez, tem como parâmetros o tipo de piso/superfície onde a zona externa está inserida R_T , índice de proteção contra choques ou descargas na estrutura e na linha, P_{TA} e $P - TU$ respectivamente, o risco de incêndio

proposto R_F , as proteções indiretas presentes contra estes incêndios R_P , assim como a blindagem espacial interna K_{S2} . Também são dispostas lacunas para a análise de duas linhas, caso a linha principal esteja seccionada, relacionando a coordenação de seus DPS P_{SPD} e sua fiação interna K_{S3} . Por fim, este campo os fatores responsáveis por associar as pessoas na zona, N_Z , N_T e T_Z , bem como o fator de redução associado ao tipo de perigo especial h_z , e os valores médios típicos L_T , L_F e L_O , associados ao tipo de perda L1. A Figura 36 abaixo ilustra este campo:

Figura 36 – Características gerais da zona externa

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ZONA EXTERNA				
PARÂMETRO	SÍMBOLO	REFERÊNCIA	DEFINIÇÕES	VALOR
Tipo de piso/superfície	R_T	FIGURA 24	Agricultura, concreto (resistência do contato $\leq 1K\omega$)	
Proteção contra choques - Descarga na estrutura	P_{TA}	FIGURA 13	Nenhuma medida de proteção	
Proteção contra choques - Descarga na linha	P_{TU}	FIGURA 18		
Risco de incêndio	R_F	FIGURA 26	Incêndio - Normal	
Proteção contra incêndio	R_P	FIGURA 25	Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	
Blindagem espacial interna	K_{S2}	EQ. 2.29	$K_{S2} = 0,12 \times WM2$	
Linha 1 - Fiação interna	K_{S3}	FIGURA 17		
Linha 1 - DPS coordenados	P_{SP0}	FIGURA 15		
Linha 2 - Fiação interna	K_{S3}	FIGURA 17		
Linha 2 - DPS coordenados	P_{SP0}	FIGURA 15		
Fator para pessoas na zona	N_Z		NÚMERO DE PESSOAS NA ZONA	
	N_T		NÚMERO TOTAL DE PESSOAS NA ESTRUTURA	
	T_Z		TEMPO COM PESSOAS PRESENTES (HORAS POR ANO)	
L1: Perda de vida humana	H_Z	FIGURA 27	Sem perigo especial	
	L_T	FIGURA 23	D1 - Ferimentos - Todos os tipos	
	L_F		D2 - Danos físicos - Industrial, comercial	
	L_O			

Fonte: Autor

Utilizando os mesmos conceitos e parâmetros do campo anterior, é disponibilizado na planilha um campo apenas para a análise das características gerais da zona interna da estrutura. A mesma é exibida pela Figura 37 seguir:

Figura 37 – Características gerais da zona interna

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ZONA INTERNA				
PARÂMETRO	SÍMBOLO	REFERÊNCIA	DEFINIÇÕES	VALOR
Tipo de piso/superfície	R _T	FIGURA 24	Agricultura, concreto (resistência do contato $\leq 1K\omega$)	
Proteção contra choques - Descarga na estrutura	P _{TA}	FIGURA 13	Avisos de alerta	
Proteção contra choques - Descarga na linha	P _{TU}	FIGURA 18	Nenhuma medida de proteção	
Risco de incêndio	R _F	FIGURA 26	Explosão - Zonas 2 e 22	
Proteção contra incêndio	R _P	FIGURA 25	Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	
Blindagem espacial interna	K _{S2}	EQ. 2.29	$K_{S2} = 0,12 \times W_{M2}$	
Linha 1 - Fiação interna	K _{S3}	FIGURA 17	Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos (d)	
Linha 1 - DPS coordenados	P _{SPD}	FIGURA 15	I	
Linha 2 - Fiação interna	K _{S3}	FIGURA 17	Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos (d)	
Linha 2 - DPS coordenados	P _{SPD}	FIGURA 15	I	
Fator para pessoas na zona	N _Z		NÚMERO DE PESSOAS NA ZONA	
	N _T		NÚMERO TOTAL DE PESSOAS NA ESTRUTURA	
	T _Z		TEMPO COM PESSOAS PRESENTES (HORAS POR ANO)	
	H _Z	FIGURA 27	Sem perigo especial	
L1: Perda de vida humana	L _T	FIGURA 23	D1 - Ferimentos - Todos os tipos	
	L _F		D2 - Danos físicos - Risco de explosão	
	L _O		D3 - Falhas de sistemas internos - Risco de explosão	

Fonte: Autor

3.1.2 Concepção dos campos de análise de dados da planilha

Definidos os 5 campos principais de inserção de dados da planilha, foi necessário criar campos secundários que pudessem equacionar todos esses dados dentro da planilha, tomando por base as relações discutidas anteriormente para cada único parâmetro, já que a utilização ou não utilização deste parâmetro ocorre apenas na identificação do tipo de perda. Nestes campos secundários, as colunas serão divididas em 5. A primeira delas indica a origem do dado ali presente com o nome do campo principal que o originou, a segunda coluna apresenta o símbolo da incógnita que será calculada ao final, a terceira coluna apresenta o valor numérico do parâmetro calculado, a quarta coluna identifica neste documento a numeração da equação que está sendo utilizada para identificar o parâmetro, e por fim, a quinta e última coluna exibe essa mesma equação para uma melhor visualização do usuário. Portanto, a terceira coluna, que apresenta o resultado da linha, é a única que receberá uma equação no formato Excel, que nestes casos será a mesma equação definida dentro da quarta e da quinta coluna, apenas traduzida e adaptada para o modelo de linguagem do Excel. Deste modo, o primeiro campo secundário será o responsável por apresentar os dados da exposição equivalente da estrutura e linhas, os mesmos exibidos na Figura 38:

Figura 38 – Exposição equivalente da estrutura e linhas

EXPOSIÇÃO EQUIVALENTE DA ESTRUTURA E LINHAS				
	SÍMBOLO	RESULTADO (m²)	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO
Estrutura	AD		2.14	$AD = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	AM		2.18	$AM = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$
Linha de Energia	A L/P		2.20	$AL/P = 40 \times LL$
	A I/P		2.22	$AI/P = 4\,000 \times LL$
	A DJ/P		2.14	$AD = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
Linha de sinal	A L/T		2.20	$AL/P = 40 \times LL$
	A I/T		2.22	$AI/P = 4\,000 \times LL$
	A DJ/T		2.14	$AD = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$

Fonte: Autor

Em seguida, configura-se o segundo campo de cálculo, dedicado ao número de eventos perigosos, demonstrado na Figura 39:

Figura 39 – Número de eventos perigosos

NÚMERO DE EVENTOS PERIGOSOS				
	SÍMBOLO	RESULTADO (/ANO)	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO
Estrutura	ND		2.15	$ND = NG \times AD \times CD \times 10^{-6}$
	NM		2.17	$NM = NG \times AM \times 10^{-6}$
Linha de energia	N L/P		2.19	$NL = NG \times AL \times CI \times CE \times CT \times 10^{-6}$
	N I/P		2.21	$NI = NG \times AI \times CI \times CE \times CT \times 10^{-6}$
	N DJ/P		2.16	$NDJ = NG \times ADJ \times CDJ \times CT \times 10^{-6}$
Linha de sinal	N L/T		2.19	$NL = NG \times AL \times CI \times CE \times CT \times 10^{-6}$
	N I/T		2.21	$NI = NG \times AI \times CI \times CE \times CT \times 10^{-6}$
	N DJ/T		2.16	$NDJ = NG \times ADJ \times CDJ \times CT \times 10^{-6}$

Fonte: Autor

Em sequência, o terceiro campo de cálculo se destinará aos valores relacionados à avaliação das probabilidades de dano, duplicando o campo em 2 categorias: uma para a linha de energia e outra idêntica para a análise dos mesmos dados para a linha de sinal. Neste campo, também será definido o valor de w_{m1} referente às larguras das blindagens da linha, possuindo um valor fixo de 10 metros, para o bom andamento do experimento. O terceiro campo é representado pela Figura 40:

Figura 40 – Parâmetros da avaliação da probabilidade de danos

EXPOSIÇÃO EQUIVALENTE DA ESTRUTURA E LINHAS					
VALORES PARA CÁLCULOS					
WM1	10	10	m	LARG BLIND GRADE, CONDUIT DESCIDA OU ESPAÇO DE COL	
SÍMBOLO	ZONA EXTERNA	ZONA INTERNA	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO	LINHA
PA			2.23	$PA = PTA \times PB$	Linha de Energia
PC			2.24	$PC = PSPD \times CLD$	
PM			2.26	$PM = PSPD \times PMS$	
PU			2.31	$PU = PTU \times PEB \times PLD \times CLD$	
PV			2.32	$PV = PEB \times PLD \times CLD$	
PW			2.33	$PW = PSPD \times PLD \times CLD$	
PZ			2.34	$PZ = PSPD \times PLI \times CLI$	
SÍMBOLO	ZONA EXTERNA	ZONA INTERNA	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO	LINHA
PA			2.23	$PA = PTA \times PB$	Linha de Sinal
PC			2.24	$PC = PSPD \times CLD$	
PM			2.26	$PM = PSPD \times PMS$	
PU			2.31	$PU = PTU \times PEB \times PLD \times CLD$	
PV			2.32	$PV = PEB \times PLD \times CLD$	
PW			2.33	$PW = PSPD \times PLD \times CLD$	
PZ			2.34	$PZ = PSPD \times PLI \times CLI$	

Fonte: Autor

Finalmente, é criado um campo responsável pelos cálculos dos parâmetros relacionados às perdas típicas, que será subdividido conforme os tipos de perda L a eles associados. O mesmo é representado abaixo pela Figura 41:

Figura 41 – Parâmetros da avaliação da probabilidade de danos

CÁLCULO DE PERDA TÍPICA						
SÍMBOLO	ZONA EXTERNA	ZONA INTERNA	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO	PERDA	
LA			C.1 (FIG 22)	LA = RT x LT x (NZ/NT) x (TZ/8760)	L1	
LB			C.3 (FIG 22)	LB = RP x RF x HZ x LF x (NZ/NT) x (TZ/8760)		
LC			C.4 (FIG 22)	LC = L0 x (NZ/NT) x (TZ/8760)		
LM			C.4 (FIG 22)	LM = L0 x (NZ/NT) x (TZ/8760)		
LU			C.2 (FIG 22)	LU = RT x LT x (NZ/NT) x (TZ/8760)		
LV			C.3 (FIG 22)	LV = RP x RF x HZ x LF x (NZ/NT) x (TZ/8760)		
LW			C.4 (FIG 22)	LW = L0 x (NZ/NT) x (TZ/8760)		
LZ			C.4 (FIG 22)	LZ = L0 x (NZ/NT) x (TZ/8760)		
SÍMBOLO	ZONA EXTERNA	ZONA INTERNA	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO	PERDA	
LB			C.7 (FIG 28)	LB = RP x RF x LF x (NZ/NT)	L2	
LC			C.8 (FIG 28)	LC = L0 x (NZ/NT)		
LM			C.8 (FIG 28)	LM = L0 x (NZ/NT)		
LV			C.7 (FIG 28)	LV = RP x RF x LF x (NZ/NT)		
LW			C.8 (FIG 28)	LW = L0 x (NZ/NT)		
LZ			C.8 (FIG 28)	LZ = L0 x (NZ/NT)		
VALORES PARA CÁLCULOS						
CZ			-	VALOR DO PATRIMÔNIO CULTURAL NA ZONA		
CT			-	VALOR TOTAL DA EDIFICAÇÃO E CONTEÚDO (SOMA DAS ZONAS)		
SÍMBOLO	ZONA EXTERNA	ZONA INTERNA	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO	PERDA	
LB	0	0	C.9 (FIG 29)	LB = RP x RF x LF x (CZ/CT)	L3	
LV	0	0	C.9 (FIG 29)	LV = RP x RF x LF x (CZ/CT)		
VALORES PARA CÁLCULOS						
CA			-	VALOR DOS ANIMAIS NA ZONA		
CB			-	VALOR DAS EDIFICAÇÕES RELEVANTES À ZONA		
CC			-	VALOR DO CONTEÚDO DA ZONA		
CS			-	VALOR DOS SISTEMAS INTERNOS INLCUINDO SUAS ATIVIDADES NA ZONA		
CT			-	VALOR TOTAL DA ESTRUTURA (SOMA DE TODAS AS ZONAS)		
SÍMBOLO	ZONA EXTERNA	ZONA INTERNA	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO	PERDA	
LA	0	0	C.10 (FIG 30)	LA = RT x LT x (CA/CT)	L4	
LB	0	0	C.12 (FIG 30)	LB = RP x RF x LF x ((CA + CB + CC + CS)/CT)		
LC	0	0	C.13 (FIG 30)	LC = L0 x (CS/CT)		
LM	0	0	C.13 (FIG 30)	LM = L0 x (CS/CT)		
LU	0	0	C.11 (FIG 30)	LU = RT x LT x (CA/CT)		
LV	0	0	C.12 (FIG 30)	LV = RP x RF x LF x ((CA + CB + CC + CS)/CT)		
LW	0	0	C.13 (FIG 30)	LW = L0 x (CS/CT)		
LZ	0	0	C.13 (FIG 30)	LZ = L0 x (CS/CT)		

Fonte: Autor

Neste campo ainda existe a presença de linhas destacadas em amarelo, disponibilizadas para a inserção de valores financeiros relacionados ao custo equivalente das estruturas e/ou suas associações, conteúdos, sistemas, entre outros já discutidos, e amplamente necessários para a validação dos valores médios típicos de perdas do tio L3 e L4. Para o estudo aqui trabalhado, estes valores não serão computados a fim de não prejudicar o desenvolvimento do raciocínio e melhorar a praticidade do experimento, não atrapalhando seu foco principal.

3.1.3 Concepção dos campos de resultado da planilha

Após a organização dos campos de inserção de dados e dos campos de tratamento de dados, a elaboração de um campo para a exibição dos resultados e a comparação dos mesmos com os valores ideais para cada tipo de perda se fez necessária. De início, foi criada uma lista suspensa para a seleção do tipo de perda que estaria sendo analisada, para que a planilha fizesse a correspondência do tipo de perda com o respectivo valor de risco tolerável. Na sequência, foi produzida uma coluna que pudesse armazenar os tipos de danos envolvidos nessa perda selecionada, de modo que cada tipo de dano fosse subdividido em seus respectivos componentes de risco. Deste modo, cada um desses componentes de risco assume três valores diferentes dispostos em três tipos de coluna, a primeira para a zona externa $Z1$, a segunda para a zona interna $Z2$ e a última coluna referente à estrutura, já que anteriormente essa também foi a divisão escolhida para o tratamento dos dados inseridos na planilha.

Para um melhor entendimento do funcionamento e de como é efetuada cada relação entre os tipos de perda, o risco calculado para cada tipo de perda e os componentes de risco presentes associados a ele, em cada situação, relações estas que serão novamente elucidadas pela Tabela 1. Neste capítulo em especial, estabeleceu-se um risco para cada um dos tipos de perda, ou seja: o risco de perda de vida humana R_1 referente ao tipo de perda $L1$, o risco de perda de serviço ao público R_2 ao tipo de perda $L2$, o risco de perda de patrimônio cultural R_3 ao tipo de perda $L3$, e o risco de perda de valor econômico R_4 ao tipo de perda $L4$. Neste sentido, na composição de cada tipo de risco, estabeleceram-se algumas expressões baseadas em suas componentes de risco, ou seja: o tipo de risco R_1 ficou relacionado pela Expressão (2.1), R_2 relacionado pela Equação (2.2), R_3 relacionado pela Equação (2.3), e R_4 relacionado pela Equação (2.4). Na Figura 3, portanto, o intuito principal é identificar em cada risco de tipo de perda, a presença de um ou mais componente de risco, sendo estes últimos subdivididos por cada uma das fontes de dano. Como elucidação complementar, foi demonstrado como componente de risco é associada mais uma vez a uma determinada fonte de dano S , e também a um determinado tipo de dano D . Deste modo, foi elaborada uma tabela que pudesse reunir estes dados, já que essa associação será importante no momento de concepção do campo responsável pela obtenção dos resultados e comparação dos mesmos na planilha.

Tabela 1 – Tabela associativa entre fonte de dano, tipo de dano, risco para cada tipo de perda e componentes de risco

	Fonte de danos							
	S1			S2	S3			S4
Componente de Risco	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Tipo de dano	D1	D2	D3	D3	D1	D2	D3	D3
Risco para cada tipo de perda								
R_1	x	x	x	x	x	x	x	x
R_2		x	x	x		x	x	x
R_3		x				x		
R_4	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: Autor

Para o campo de resultados da planilha, um desenvolvimento semelhante foi introduzido e está exibido na Figura 42:

Figura 42 – Resultado e comparação dos riscos para cada tipo de perda e zonas

TIPO DE PERDA SIMULADA		RESUMO CENÁRIO ATUAL PARA RISCO DE PERDAS HUMANAS				
TIPOS DE DANOS		RISCO	Z1 - EXTERNA	Z2 - INTERNA	ESTRUTURA	EQUAÇÃO
D1	Ferimento a seres vivos devido à choques elétricos	RA	1,88E-09	3,75E-11	1,91E-09	RA = ND × PA × LA
		Ru	0,00E+00	5,26E-11	5,26E-11	RU = (NL + NDJ) × PU × LU
D2	Danos físicos	Rb	1,88E-08	1,88E-10	1,89E-08	RB = ND × PB × LB
		Rv	2,63E-08	2,63E-10	2,66E-08	RV = (NL + NDJ) × PV × LV
D3	falhas de sistemas eletrônicos	Rc	0,00E+00	3,75E-07	3,75E-07	RC = ND × PC × LC
		Rm	0,00E+00	4,09E-14	4,09E-14	RM = NM × PM × LM
		Rw	0,00E+00	1,05E-06	1,05E-06	RW = (NL + NDJ) × PW × LW
		Rz	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	RZ = NI × PZ × LZ
		Risco calculado	4,69E-08	1,43E-06	1,47E-06	
		Aceitável		Aceitável	Aceitável	
		Risco Tolerável	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05	

Fonte: Autor

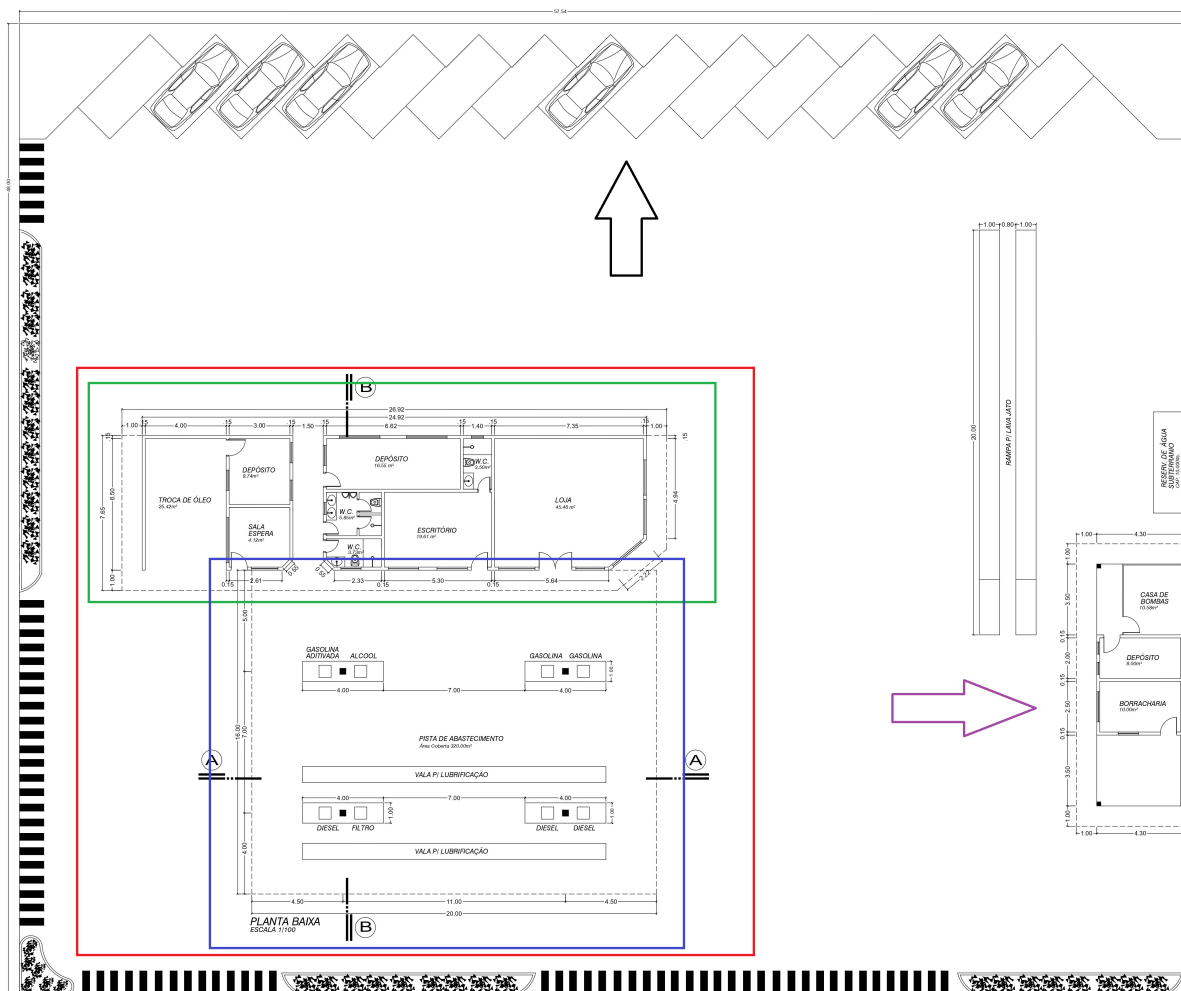
É importante pontuar que a lacuna preenchida pela cor amarela na planilha e nesta última imagem, apresenta uma lista suspensa, na qual será identificado o tipo de perda L. Isso acontece devido ao formato com que as equações presentes nas lacunas inseridas no retângulo vermelho da Figura 42, referentes as componentes de risco, são acionadas ou não. Como visto, alguns tipos de componentes de riscos são associados apenas para alguns tipos de perdas, portanto, as equações presentes neste campo foram construídas levando em consideração o tipo de perda que está sendo trabalhada naquele momento, dentro da lacuna de cor amarela. Outro fator importante para essa divisão é o de que diferentes tipos de perda apresentam diferentes valores de risco toleráveis, identificados pelo conjunto de lacunas indicadas pela linha da seta azul na Figura 42. Sendo assim, a depender do estudo e da forma de análise, é aconselhável realizar quatro comparações diferentes para garantir a máxima extração de informações da planilha e também o máximo de proteção da estrutura e zonas associadas a mesma, contra todos os tipos de perdas que podem ser identificadas consoante os tipos de fontes de danos.

4 RESULTADOS

4.1 Modelo do posto de gasolina

Nesta seção, será introduzida a modelagem do posto de gasolina que será utilizado para a continuação do desenvolvimento do trabalho aqui redigido. Para este processo, foi definida uma base pré-existente de um projeto de posto de gasolina elaborada por Márcio Alves em CADblocos (s.d.), com algumas adaptações feitas pelo autor do presente texto. A área de estudo irá abranger 3 regiões diferentes: um estacionamento de carros (indicado pela seta preta), uma região de abrigo da borracharia e casa de bombas (indicado pela seta roxa), e o complexo (indicado pelo quadrado vermelho) de ilhas de abastecimento (indicadas pelo quadrado azul) e a conveniência do posto (indicada pelo quadrado verde), assim como exibido na Figura 43:

Figura 43 – Projeto do posto de gasolina

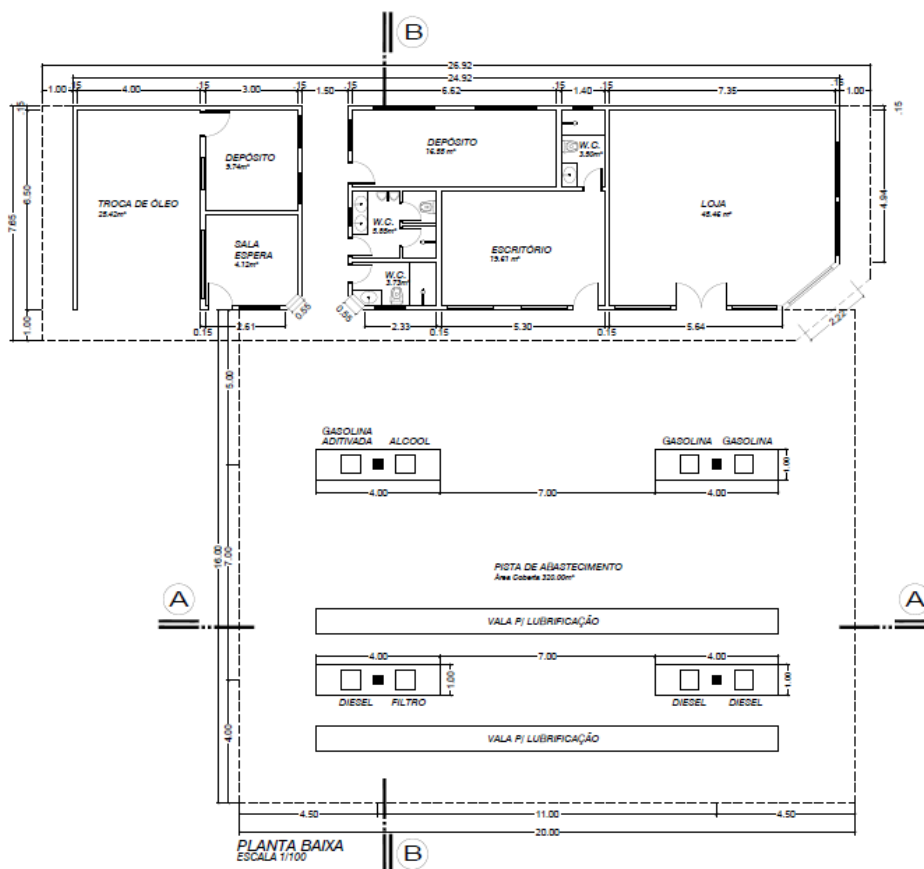


Fonte: CADblocos adaptado pelo autor

Supondo que a propriedade de análise compreende estas 4 regiões indicadas anterior-

mente, é indicado que o projetista responsável pelo estudo a subdivida em 4 gerenciamentos de riscos diferentes, um para cada área e/ou estrutura. Entretanto, como o intuito do documento é estabelecer as diretrizes de um gerenciamento de risco específico para as regiões que apresentam os maiores riscos dentro da área do posto de gasolina, o estudo irá englobar apenas o complexo de ilhas de abastecimento e a conveniência do posto de gasolina. Isto é justificado pelo fato de que, comparado a este complexo, as regiões da borracharia e do estacionamento não apresentam riscos e componentes de risco com valores significantes o suficiente para serem dignos de um estudo mais específico. Alguns fatores que contribuem para isso são a falta de uma alta frequência de pessoas dentro destas regiões e um valor econômico agregado a ambas muito baixo, a ponto de apresentarem consideráveis riscos de perda de vida humana, R_1 , e risco de perda de valor econômico, R_4 , respectivamente. Além disso, tanto a borracharia quanto o estacionamento, possuem dimensões físicas nada relevantes quando comparadas as ilhas de abastecimento e a conveniência, por isto a incidência de descargas atmosféricas pode ser considerada nula para as mesmas. Sendo assim a região de estudo está compreendida na Figura 44:

Figura 44 – Complexo composto pelas ilhas de abastecimento e a conveniência

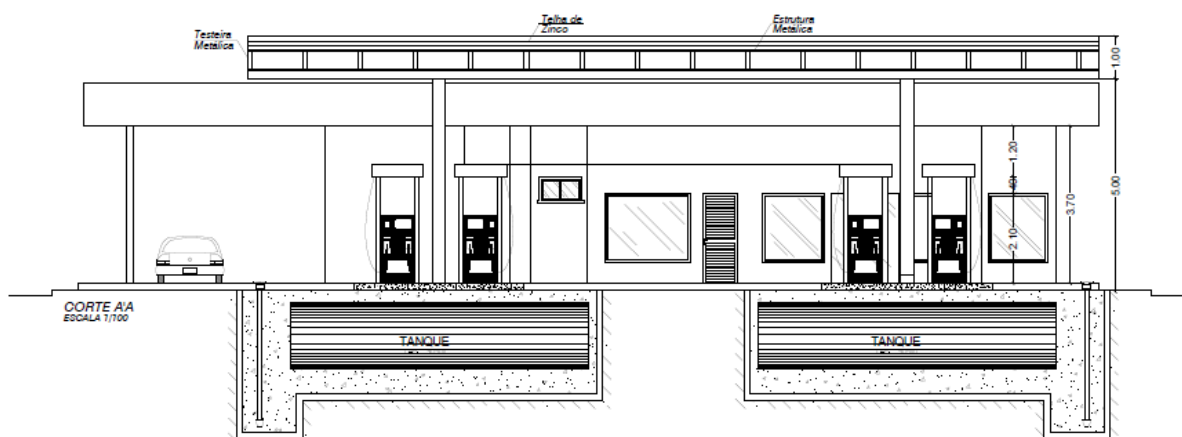


Fonte: CADbloco adaptado pelo autor

Como é possível identificar na configuração da imagem anterior, foram realizados dois cortes na planta baixa para uma melhor visualização dos componentes das ilhas de

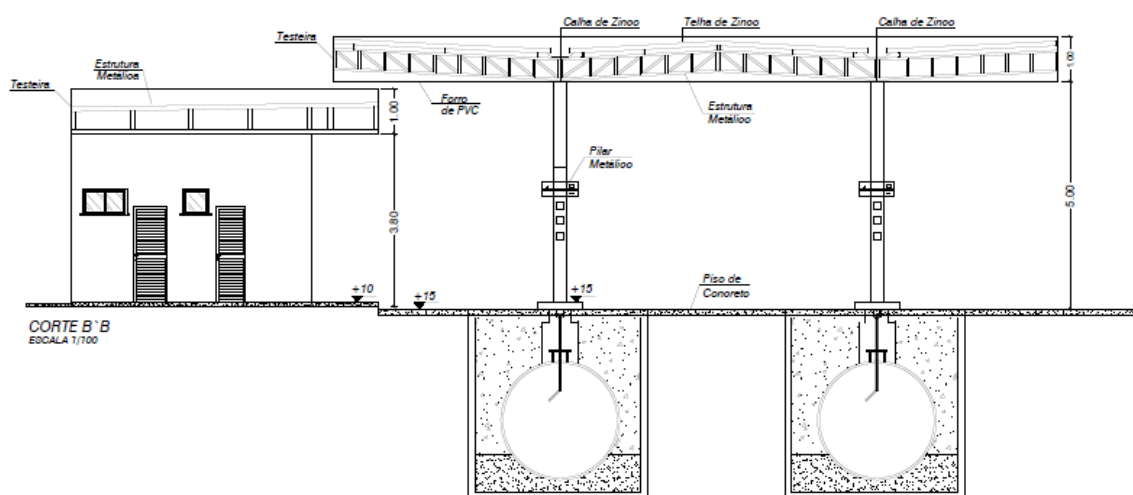
abastecimento e da disposição destes mesmo componentes em relação à conveniência, além de uma melhor visualização da composição das principais estruturas de ambas as áreas, que futuramente servirão de molde para a concepção do projeto de SPDA do posto de gasolina, como as paredes, os pilares e também as estruturas que representam o teto, assim como apresentado pela Figura 45 e pela Figura 46 abaixo:

Figura 45 – Corte A-A



Fonte: CADblocos adaptado pelo autor

Figura 46 – Corte B-B

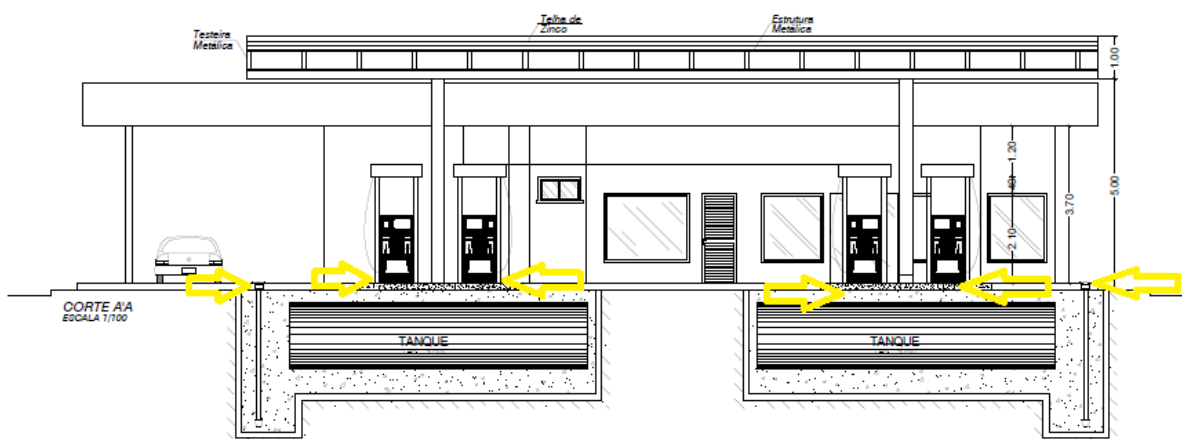


Fonte: CADblocos adaptado pelo autor

Um dos pontos mais importantes que serão considerados neste estudo é que as regiões ao redor das ilhas de abastecimento são áreas classificadas, ou seja, regiões que possuem a possibilidade de ocorrência de uma atmosfera explosiva, caracterizada como a mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de vapores ou gases inflamáveis, na qual, após

a ignição, permite a propagação da chama. Para uma melhor compreensão de como as áreas classificadas e cada uma de suas zonas são definidas é indicada a consulta ao Apêndice B deste trabalho. Aqui, serão adotados como Zona 0 apenas a região que fica em contato com o líquido combustível dos tanques, como Zona 1 as regiões dos suspiros e das bombas de abastecimento por serem extremidade de contato com o tanque de combustível situado abaixo dos mesmos, enterrado. Como Zona 2 comumente adotam-se as regiões próximas as de Zonas 1, entretanto, como o posto está em completo contato com ar e a atmosfera em todos as suas extremidades, não serão consideradas regiões de Zona 2 no estudo. Na imagem abaixo são sinalizados pelas setas amarelas, os respiros e os pontos de contato do tanque de armazenamento com as bombas das ilhas, ambos pontos que serão considerados como Zona 1, assim como mostra a Figura 47:

Figura 47 – Indicação das Zonas 1 no posto de gasolina



Fonte: CADblocos adaptado pelo autor

4.2 Aplicação da planilha de gerenciamento de risco ao modelo

Dada a fixação do modelo base, é necessário agora implementar os dados do mesmo na planilha de gerenciamento de risco elaborada. Como dito anteriormente, serão feitas duas análises diferentes, utilizando-se a planilha de gerenciamento de risco duas vezes, a primeira análise será direcionada apenas a conveniência do posto de gasolina, considerando a estrutura das ilhas de abastecimento apenas como estrutura adjacente. Já a segunda análise é exclusivamente direcionada para as ilhas de abastecimento, considerando a conveniência do posto de gasolina, uma estrutura adjacente.

4.2.1 Gerenciamento de risco para a conveniência do posto de gasolina

Seguindo a cronologia proposta, o primeiro campo principal de coleta de dados a ser contemplado é aquele referente as características gerais da estrutura, identificado na Figura 32. Para o estudo, a localização do posto de gasolina será dentro da cidade de São Carlos,

no estado de São Paulo, Brasil. Assim, inserindo essa informação no site disponibilizado pelo INPE para a consulta de informações referente ao número de descargas atmosféricas nessa localidade (disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>), obtém-se um valor de 5,74 descargas atmosféricas por km^2 por ano, valor este aproximado para 6 com o intuito de facilitar a conversão de dados pela planilha. Como medidas de dimensão da conveniência, tem-se valores próximos a 27 metros de largura, com um comprimento de 8 metros e uma altura de 5 metros, identificada nos cortes da planta baixa. Nessa ocasião de estudo, o posto está localizado em uma região central da cidade de São Carlos, caracterizada pela grande presença de prédios e edifícios maiores que a conveniência, o que garante as estruturas dentro do posto um fator de localização C_D igual a 0,25, valor traduzido pela Figura 8 para estrutura cercadas por objetos mais altos. Para a conveniência, o estudo será iniciado como uma estrutura não protegida por SPDA, o que propõe um valor de probabilidade igual a 1 para o fator P_B , segundo a Figura 14. Igualmente ao SPDA, será adotada a falta de presença de um DPS na ligação equipotencial inicialmente a fim de checar as possibilidades da planilha para a falta desse equipamento, portanto, $P_{EB} = 1$. Como o foco de atenção do trabalho é direcionado as medidas de proteção de um SPDA, fatores como a eficiência das blindagens espaciais por malha, K_{S1} e K_{S2} , não serão consideradas e, portanto, receberão valor unitário na planilha para não influenciarem os componentes de risco da mesmo. Para a conveniência, vale lembrar que não existirá o risco de explosão e a possibilidade de animais serem perdidos, o que faz as lacunas "Nota A" e "Nota B" receberem o valor "Não".

Seguindo para o campo da Figura 34, características gerais da linha de "energia", é necessário definir o comprimento da linha, que aqui será estipulado o valor de 500 metros. Além disso, a linha chega de forma enterrada até o posto, garantindo um valor de 0,5 para o fator de instalação C_I , apresentado pela Figura 11. Como o posto de gasolina não possui uma subestação, o tipo de linha não será associado a um fornecimento em alta tensão, ou seja, C_T recebe valor unitário pela Figura 10. Ademais, o posto se encontra em uma localização urbana central da cidade, tornando $C_E = 0,1$ segundo a Figura 12.

Em relação às medidas relacionadas a tensão da linha de energia, será estipulado o valor de tensão suportável dos sistemas internos de 4kV, mesmo valor suportado pela linha, assim $U_W = 4kV$ e $P_{LI} = 0,16$, pela Figura 21. Seguindo o mesmo raciocínio, definiu-se que a linha enterrada possuirá a blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização dos equipamentos, para os 4kV, com o valor da resistência de blindagem do cabo com valores entre $5\Omega/km < R_S \leq 20\Omega/km$. Essa informação traduz alguns valores referentes a blindagem, aterramento e isolamento, como um valor de P_{LD} igual a 0,9 pela Figura 20, e valores de $C_{LD} = 1$ e $C_{LI} = 0$, ambos pela Figura 16. Para os campos da estrutura adjacente, serão lançadas informações referentes às ilhas de abastecimento como já discutido, desta forma os valores dimensionais da mesma são: 20 metros de largura, 16 metros de comprimento e uma altura de 6 metros. Como possuem a mesma localização, as ilhas recebem o mesmo valor da conveniência para o campo

referente ao fator de localização C_D , igual a 0,25.

A inserção de dados relacionados às características da linha de sinal seguiu um raciocínio semelhante ao da linha de energia, portanto, os campos associados ao comprimento da linha, seu fator de instalação, fator de tipo de linha e fator ambiental, receberam os mesmos valores da linha de energia, deste modo, seguindo esta ordem respectivamente para a linha de sinal, o comprimento da linha L_L será 500 metros, $C_I = 0,5$ enterrado, $C_T = 1$ para linha de sinal ou energia, e $C_E = 0,1$ para uma localização urbana. Para a tensão suportável utilizou-se $P_{LI} = 1,5kV$, comportando uma blindagem de linha $P_{LD} = 0,5$, além de uma linha com blindagem interligada ao mesmo barramento de equipotencialização, com as mesmas características da linha de energia, com a diferença de que nesse momento $P_{LD} = 1$. Estas configurações de blindagem, aterramento e isolamento garantem valores semelhantes à linha de energia para os fatores C_{LD} e C_{LI} , respectivamente iguais a um e zero. Relacionando a influência da estrutura adjacente, os mesmos valores foram inseridos considerando as ilhas de abastecimento.

O quarto campo principal de inserção de dados é referente às características da zona externa. A norma ABNT NBR 5419-2:2015 recomenda a divisão da área de análise em zonas a partir do momento em que diferentes características são encontradas em uma mesma estrutura, como é o estudo de caso fornecido pela própria norma dentro de seu Anexo E, referente a um hospital. Neste exemplo da norma, o hospital é dividido em 4 zonas distintas de análise, uma direcionada a parte externa do hospital, uma zona para o bloco dos quartos, uma zona para o bloco de operação, e uma zona dedicada ao bloco de terapia intensiva. Esta divisão proposta evidencia algumas peculiaridades e características individuais que estão presentes somente em uma das zonas como, por exemplo, o número de pessoas presentes em determinada zona para o período de um ano, o tipo de piso em cada uma delas, ou até o risco de perda de vida humana devido à falha de sistemas internos causada por descargas atmosféricas, como no caso da UTI. Nesse sentido, ao invés de considerar a conveniência e as ilhas de abastecimento como uma mesma estrutura e realizar, a partir do gerenciamento de risco, um estudo considerando ambas zonas diferentes de um mesmo bloco, optou-se pela especificidade e a precisão de dados, dividindo ambas em estruturas diferentes, porém adjacentes. Portanto, na planilha, será realizada apenas a inserção de dados no campo dedicado às características gerais da zona interna.

Partindo para a definição das características gerais da zona interna e única nesse estudo para a conveniência do posto, definiu-se um tipo de superfície sendo de concreto, o que qualifica um valor para $R_T = 0,01$ pela Figura 24. Para as proteções contra descargas na estrutura e na linha serão utilizados apenas avisos de alerta, o que direciona valores iguais a 0,1 para P_{TA} pela Figura 13 e também para P_{TU} pela Figura 18. Para a conveniência o risco de incêndio será normal, $R_F = 0,01$ pela Figura 26, com proteções como extintores, instalações de alarmes manuais e rotas de escape, caracterizando $R_P = 0,5$ pela Figura 25. No início desta seção, definiu-se K_{S2} com valor unitário para a blindagem espacial

interna, valor que se repete para K_{S3} já que o cabo das fiações internas para a conveniência, será não blindado com distribuição sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços, assim como infere a Figura 17. Aqui, nenhum DPS coordenado será vinculado, propondo valor unitário para P_{SPD} pela Figura 15. Em relação ao fator para pessoas na zona foram definidos 6 trabalhadores totais que se revezam entre os turnos de operação da conveniência, que durante o período de um ano com um cronograma de 24 horas por dia de operação, possuirão um tempo total dentro da estrutura de 8760 horas por ano (24 horas por dia multiplicadas por 365 dias no ano = 8760 horas de trabalho por ano), logo, $N_Z = N_T = 6$ e $T_Z = 8760$. Pela configuração da estrutura, não se definiu um perigo especial para a mesma, que pela Figura 27 garante um valor unitário para H_Z . Já para os fatores envolvidos ao risco de perda de vida humana L1, existe a presença de danos D1 - ferimentos de todos os tipos, D2 - danos físicos - industriais ou comerciais, sem a presença de danos do tipo D3 relacionados a falhas de sistemas internos que possam causar algum risco a vida humana, desta forma, pela Figura 23, essas características configuraram: $L_T = 0,01$, $L_F = 0,02$ e $L_O = 0$

4.2.2 Gerenciamento de risco para as ilhas de abastecimento do posto de gasolina

Nesta seção será aplicada uma nova planilha de gerenciamento de risco direcionada apenas as ilhas de abastecimento do posto de gasolina. Seguindo as mesmas diretrizes da planilha anterior, inicia-se a inserção de dados no primeiro campo principal da planilha com dados semelhantes aos da conveniência do posto, ou seja, uma densidade de descargas atmosféricas $N_G = 6$, um fator de localização $C_D = 0,25$ já que ambas as estruturas estão localizadas no mesmo ambiente, um valor também unitário para as blindagens espaciais internas K_{S1} e K_{S2} , e a não possibilidade de perda de animais dentro da propriedade. Alguns campos divergentes em função do estudo anterior serão os valores aplicados aos campos dimensionais da estrutura, aqui, correspondentes ao do conjunto das ilhas de abastecimento, portanto, 20 metros de largura, 16 metros de comprimento e 6 metros de altura, além do fator positivo para a associação da estrutura de estudo a uma propriedade com risco de explosão. De início, os campos relacionados a presença de DPS nas ligações equipotenciais P_{EB} e a presença de uma estrutura protegida por um SPDA P_B não serão contabilizadas para futuramente serem modificadas conforme o risco tolerável resultante da análise, assim como feito anteriormente para a conveniência.

Para o segundo e terceiro campo, relacionado as características gerais da linha de energia e da linha de sinal, respectivamente, a concepção de dados será exatamente igual àquela desenvolvida para a conveniência do posto, já que ambas as estruturas compartilham as mesmas entradas de linha de energia e de linha de sinal, partes de um mesmo ponto de distribuição na rede de energia. A única exceção a essa regra se resume a etapa de inserção de dados dimensionais da estrutura adjacente em ambos os campos, já que neste momento a estrutura principal de análise não é mais a conveniência, e sim as ilhas de

abastecimento, portanto, as dimensões da estrutura adjacente nestes dois campos recebem os dados da conveniência, com 27 metros de largura, 8 metros de largura e 5 metros de altura.

Devido à divisão do método de análise em planilhas individuais para cada estrutura, também não será considerada uma análise a parte para zonas externas neste estudo. Desse modo, é possível ignorar este campo de inserção de dados e iniciar o desenvolvimento do campo de características gerais da zona interna. Como já discutido anteriormente, o conjunto de ilhas de abastecimento do posto algumas regiões de contato das ilhas de abastecimento com os tanques de armazenamento de combustíveis serão considerados como área classificadas de Zona 1 para gases e vapores, onde a formação de mistura explosiva pode acontecer de maneira esporádica, em condições normais de operação e realização de atividades, e Zona 21 para poeiras e fibras combustíveis onde a nuvem de poeira potencialmente explosiva é esporádica em condições normais de operação e realização de atividades. Isso significa que a configuração das características gerais internas ao conjunto das ilhas será diferente. Iniciando o preenchimento de dados, o tipo de superfície/piso das ilhas de abastecimento será de concreto, associando um valor de $R_T = 0,01$ por meio da Figura 24, com uma equipotencialização efetiva do solo desta vez para a proteção contra choques ou descargas na estrutura, associando um valor de $P_{TA} = 0,01$ pela Figura 13, e avisos de alerta apenas no quesito proteção contra choques ou descargas na linha, induzindo um valor igual a $P_{TU} = 0,1$, pela Figura 18. Como argumentado, a relação risco de incêndio na estrutura será o equivalente a uma Zona 1 e 21, indicando um valor de $R_F = 0,1$ a partir da Figura 26. Para a proteção contra incêndio, as mesmas medidas adotadas para a conveniência serão apresentadas para o conjunto de ilhas, sendo elas a adoção de extintores, alarmes manuais e rotas de escape, propondo $R_P = 0,5$, pela Figura 25. Aqui, a fiação interna não possuirá blindagem, mas possui um roteamento estrategicamente organizado no sentido de evitar laços, garantindo um valor igual a $K_{S3} = 0,01$, pela Figura 17, além de um DPS I na coordenação de suas linhas $P_{SPD} = 0,01$, pela Figura 15. O fator de pessoas na zona será um pouco diferente, sendo consideradas apenas 4 pessoas na zona atendendo apenas 8 horas por dia, o que durante um ano resulta em 2920 horas de ocupação humana dentro da zona, assim $N_Z = N_T = 4$ e $T_Z = 2920$. Pela configuração da estrutura, não se definiu um perigo especial para a mesma, o que a Figura 27 caracteriza como valor unitário para H_Z . Para os fatores associados ao risco de perda de vida humana L1, existe a presença D1 de danos associados a ferimentos de todos os tipos, danos físicos D2 associados a um risco de explosão, e em particular neste caso, a presença de um dano D3 associado a falhas de sistemas internos que podem levar a um risco de explosão. Configuração esta que propõe valores segundo a Figura 23 de: $L_T = 0,01$, $L_F = 0,1$ e $L_O = 0,1$.

4.2.3 Interpretação das componentes de risco resultantes em relação ao risco tolerável

Após toda a etapa de qualificação dos dados e a transformação de cada informação relacionada às estruturas em um valor típico para um determinado parâmetro que influenciam na concepção das componentes de risco da conveniência e das ilhas de abastecimento, obteve-se o valor das componentes de risco do estudo, no campo de resultados da planilha.

Para a conveniência, a princípio não foi direcionado um tipo de SPDA a mesma, bem como a ausência inicial de um DPS em sua ligação equipotencial. Essa soma de condições, garantiu um risco de perda dentro da zona interna igual a $R_{ZI} = 2,51 \times 10^{-6}$ e um risco de perda na estrutura igual a $R_E = 2,85 \times 10^{-6}$. Neste caso, a soma de combinações contextuais de fatores assumidas para a conveniência já foi satisfatório para garantir a não obrigatoriedade na instalação de um SPDA ou a adoção de uma medida de proteção como o DPS, já que o risco tolerável assumido foi igual a $R_T = 1 \times 10^{-5}$, tanto para a zonas internas quanto para a estrutura, já que esse risco é associado ao tipo de perda L1. Aqui, apesar do gerenciamento de risco ter se mostrado validado em relação a não utilização de um SPDA sobre a estrutura, será suposto que o proprietário da instalação tenha requisitado a instalação de um SPDA com nível de proteção mínimo (IV) para o projetista responsável pelo estudo de caso presente neste documento, situação que ocorre quando se deseja melhorar os números obtidos na análise de risco efetuada e garantir uma maior segurança à instalação em sua totalidade, portanto, a configuração adotada para a conveniência foi a instalação de um SPDA com nível de proteção IV.

Neste ponto, vale a atenção e ressalve de que o nível de proteção do SPDA escolhido e muitas vezes modificado durante o gerenciamento de risco, deve estar sempre alinhado com o DPS projetado para aquele nível de proteção, seguindo as relações da 19. Portanto, com a implementação de um SPDA de classe IV na planilha de gerenciamento para a conveniência do posto de gasolina, deve-se também alterar o valor da variável P_{EB} , agora possuindo o valor de 0,05. Com esta nova configuração, o risco resultante de perda associado a zona interna $R_{ZI} = 1,75 \times 10^{-7}$ e um risco de perda dentro da estrutura $R_E = 2,03 \times 10^{-7}$.

Para a análise do gerenciamento exercido no conjunto de ilhas de abastecimento do posto os conceitos também não foram associados um sistema de SPDA ou um DPS para suas ligações equipotenciais, o que garantiu um valor para o risco de perda dentro da zona interna $R_{ZI} = 4,38 \times 10^{-5}$ e um risco de perda na estrutura igual a $R_E = 4,43 \times 10^{-5}$. Esse resultado não garante a proteção da estrutura e de sua zona interna, já que ambos os valores não atingem a condição de aceitabilidade proposta pela norma NBR 5419-2, sendo ambos os valores maiores que o valor de risco tolerável associado ao tipo de perda L1 $R_T = 1 \times 10^{-5}$, nesse sentido, foram necessários alguns ajustes a fim de garantir uma maior proteção. Primeiramente, realizou-se a implementação de um SPDA de classe IV, mudança acompanhada da introdução de um DPS associado a classe III-IV, o que garantiu novos valores para as componentes de risco iguais a:

- $R_{ZI} = 1,01 \times 10^{-5}$;
- $R_E = 1,02 \times 10^{-5}$.

Apesar das mudanças, ainda não se atinge os valores mínimos de proteção na estrutura, levando o estudo a adotar um SPDA com nível de proteção III. Essa nova configuração propôs novos valores para as componentes de risco:

- $R_{ZI} = 9,46 \times 10^{-6}$;
- $R_E = 9,48 \times 10^{-6}$.

Diferente dos outros resultados obtidos, a utilização de um SPDA com nível de proteção III somado a atuação de um DPS classe III-IV na ligação equipotencial do conjunto de ilhas atinge um patamar menor que o risco tolerável fornecido pela norma. Entretanto, como esse valor das componentes de risco ainda se encontram perto do limite de igualdade ao valor de risco tolerável, será adotado aqui um SPDA com nível de proteção II para alcançar uma maior eficácia e um risco menor para as ilhas de abastecimento, acompanhado ainda de um projeto que insere um DPS associado a uma classe também II de SPDA. Sendo assim, os valores finais para a atuação do DPS somado a instalação de um SPDA com nível de proteção II são:

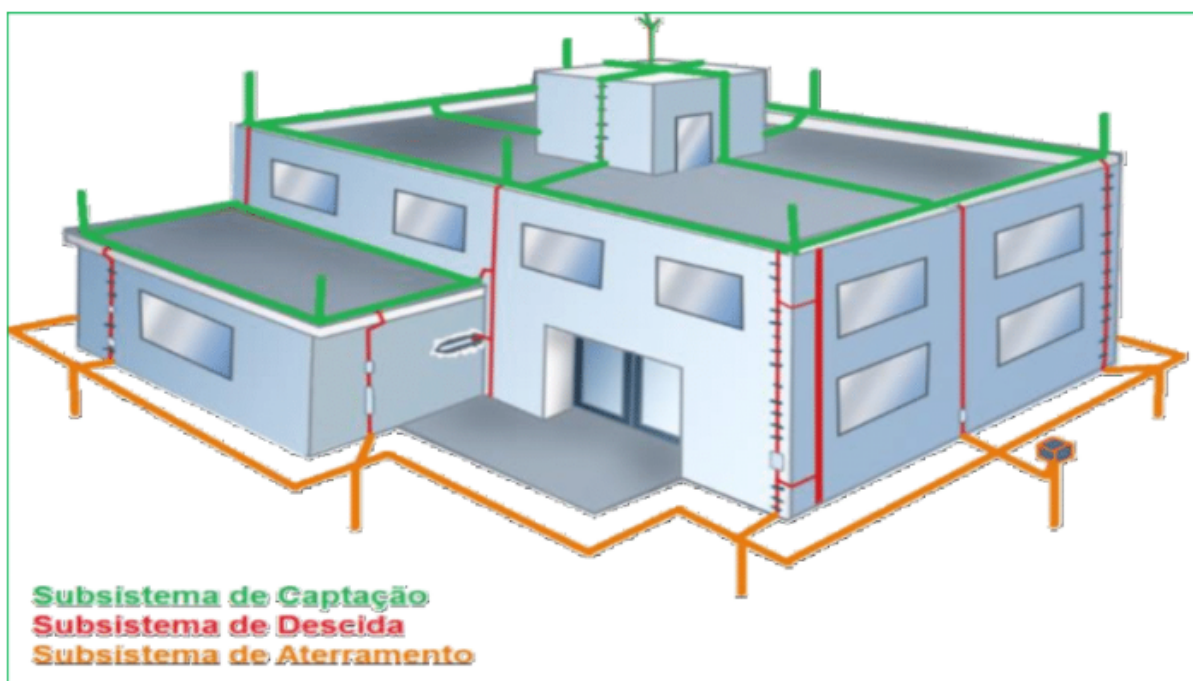
- $R_{ZI} = 8,23 \times 10^{-6}$;
- $R_E = 8,24 \times 10^{-6}$.

4.3 Incorporação da norma ABNT NBR 5419-3:2015 ao modelo

Definidos os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas que mais favorecem as estruturas de análise, é necessário entender como essa gama de informação coletada até aqui será transformada em metodologia de aplicação e instalação dos componentes de um SPDA externo nestas construções. Para isso, será de suma importância exercer a tradução de dados junto a norma ABNT NBR 5419-3:2015: Danos físicos à estrutura e perigos a vida.

No caso em estudo, uma das instalações, no caso da conveniência, receberá um SPDA de classe IV, enquanto o conjunto de ilhas de abastecimento receberá um SPDA de classe II. Seguindo a proposta idealizada pela NBR 5419-3, ambos os SPDA de classe II e de classe IV possuirão seus subsistemas associados conforme aquele que é exibido pela Figura 48 abaixo:

Figura 48 – Modelo de um sistema de SPDA externo



Fonte: (JUNIOR et al., 2021)

A partir da exposição do conteúdo presente na Figura 49, foi estipulada as condições e os valores para o raio da esfera rolante e o tamanho da malha para cada classe de SPDA:

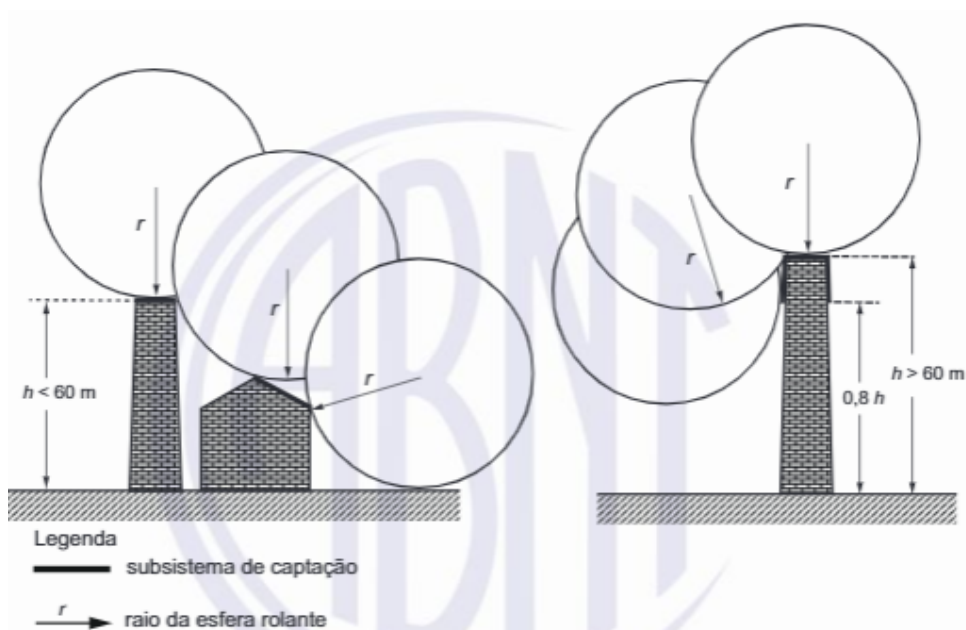
Figura 49 – Relação entre método de proteção e classe de SPDA

Classe do SPDA	Raio da esfera rolante - R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m
I	20	5 × 5
II	30	10 × 10
III	45	15 × 15
IV	60	20 × 20

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c)

Como visto, o método da esfera rolante permite que a esfera fictícia toque apenas o próprio subsistema de captação, e não a estrutura. Esta condição é vista na Figura 50:

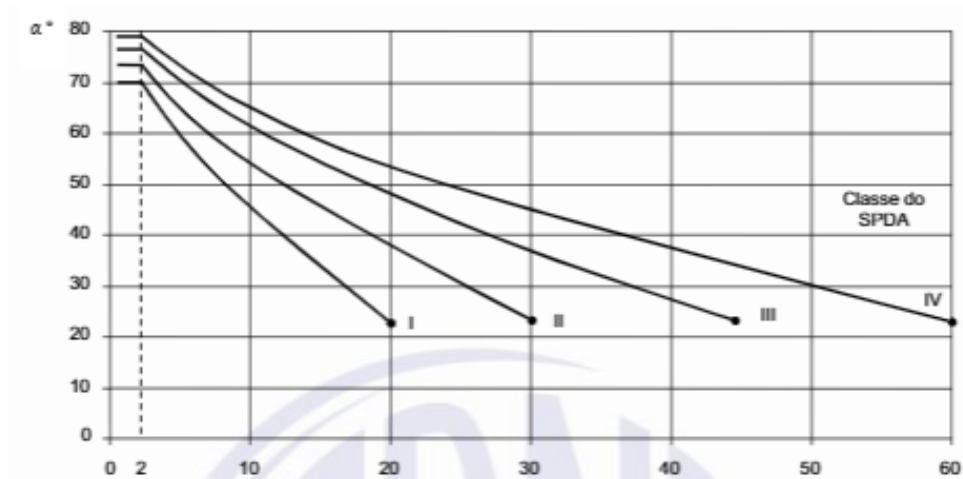
Figura 50 – Posicionamento da esfera rolante



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c)

Para o método do ângulo de proteção, a relação de valores de ângulos associados a cada altura para diferentes classes de SPDA é exposta pela Figura 51:

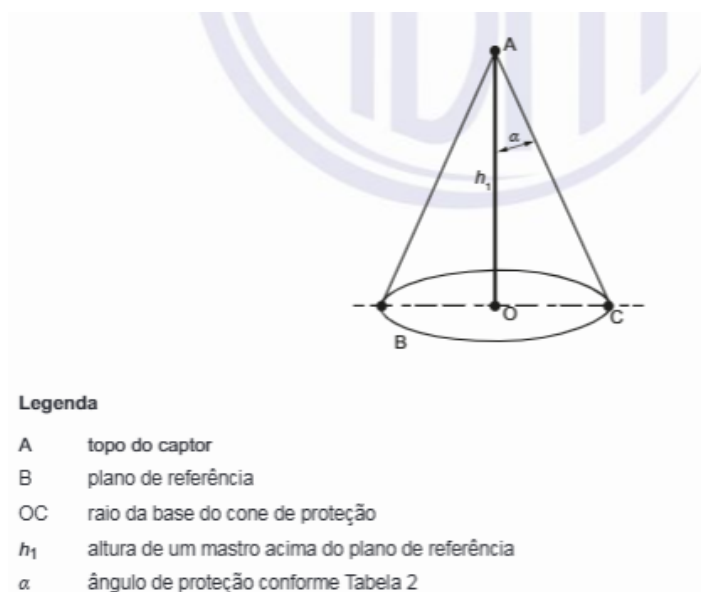
Figura 51 – Relação entre o ângulo de proteção e classe de SPDA



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c)

Este método só é considerado válido se a estrutura a ser protegida estiver totalmente situada dentro do volume de proteção provido pelo subsistema de captação. Este volume em questão é definido pela forma de um cone circular cujo vértice está posicionado no eixo do mastro, assim como mostra a Figura 52:

Figura 52 – Volume de proteção provido pelo mastro



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c)

4.3.1 Aplicação de diferentes subsistemas de captação para a conveniência do posto de gasolina

Como o intuito do estudo aqui presente é exercer uma pesquisa de viabilidade técnica para o posto de gasolina adotando diferentes metodologias de proteção contra descargas atmosféricas, o posicionamento dos subsistemas de captação serão considerados utilizando os três métodos, para que ao final se possa identificar qual deles atende da melhor forma os requisitos de custo-benefício para a propriedade. Sendo assim, foi primeiramente realizado o posicionamento do subsistema de captação para a conveniência do posto de gasolina segundo o ângulo de proteção.

Primeiramente, foi escolhido um poste de 5 metros para realizar o volume de proteção da estrutura que atende a todas as exigências e requisitos da norma ABNT NBR 5419-3, que será posicionado no centro da cobertura da conveniência. Segundo a correspondência proposta pela Figura 52, o ângulo de proteção será aquele identificado pela soma das alturas entre mastro (5 metros) e a altura da conveniência (5 metros), totalizando 10 metros, o que corresponde a aproximadamente um ângulo de proteção igual a 68° , consoante a projeção para um SPDA de classe IV. A altura do captor Franklin foi escolhida após diversas tentativas de abrigar a estrutura da conveniência dentro do volume de proteção do poste, sendo a altura de 5 metros, ideal para se contemplar essa área.

Segundo a relação proposta pela Figura 49, para o posicionamento de um subsistema de captação utilizando o método da esfera rolante para um SPDA de classe IV, é necessário realizar o deslocamento de uma esfera rolante com um raio de 60 metros em toda a estrutura da conveniência, garantindo que em todos os pontos de contato entre a edificação e a

esfera estejam unidos pelo subsistema de captação.

Por fim, pelo método das malhas, também segundo a relação proposta pela Figura 49, o correto posicionamento do subsistema de captação para um SPDA de classe IV deve respeitar um máximo afastamento de 20 metros entre os condutores da malha.

4.3.2 Aplicação de diferentes subsistemas de captação para o conjunto de ilhas de abastecimento do posto de gasolina

A aplicação do subsistema de captação para o conjunto de ilhas de abastecimento do posto de gasolina seguirá os mesmos conceitos propostos para a conveniência. Desta forma, utilizando o mesmo mastro de 5 metros, soma-se sua altura com àquela da cobertura das ilhas (6 metros), totalizando uma altura $H = 11m$, entretanto, como para as ilhas foi aplicado um SPDA de classe II, essa altura correspondendo a um ângulo de proteção de 52° na curva disponibilizada para um SPDA de classe II pela Figura 52. Igualmente à conveniência, o poste será posicionado no centro da cobertura das ilhas.

Considerando agora um subsistema de captação para o conjunto das ilhas de abastecimento posicionado pelo método da esfera rolante, realiza-se o deslocamento da mesma durante toda a estrutura para identificar quais os pontos de contato entre a mesma e a edificação, e assim aplicar a instalação de um captor nestas intersecções. Para um SPDA de classe II como o das ilhas, a esfera rolante deve possuir um raio de 30 metros.

Utilizando a mesma metodologia de aplicação de um subsistema de captação através do método das malhas para as ilhas, tem-se um máximo afastamento entre os condutores da malha de 10 metros para um SPDA de classe II.

Como regra geral, os condutores de um subsistema de descida devem respeitar um limite de distância conforme a classe do SPDA instalado na propriedade, bem como os anéis horizontais que apenas neste caso não serão necessários, os valores se encontram na Figura 53 abaixo:

Figura 53 – Valores típicos de distanciamento entre os condutores de descida e os anéis horizontais conforme a classe de SPDA proposta

Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20
NOTA É aceitável que o espaçamento dos condutores de descidas tenha no máximo 20 % além dos valores acima.	

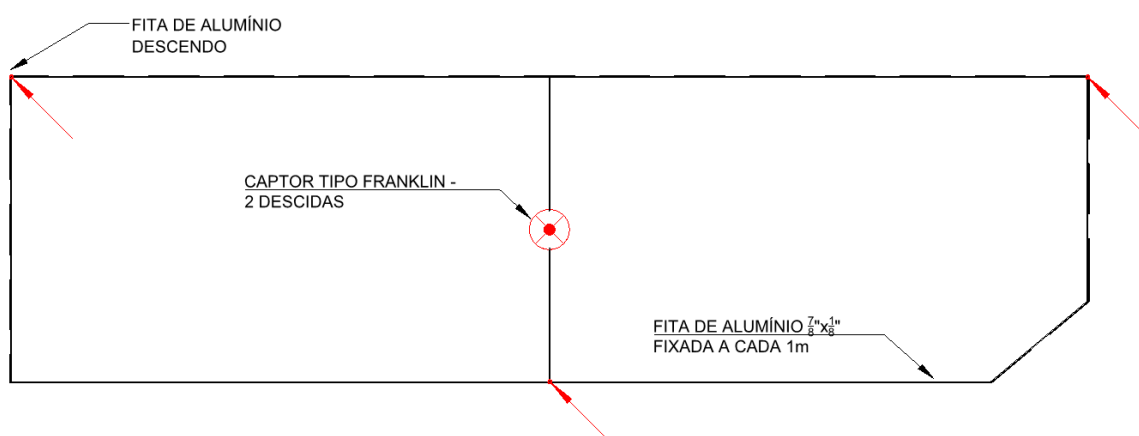
Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c)

4.4 Aplicação de diferentes medidas de proteção ao modelo

A partir deste momento, todo o modelo de estudo já possui definido os conceitos de aplicação das medidas de proteção necessárias bem definidos. Nesta seção, toda a discussão reproduzida anteriormente será inserida ao modelo para a observação dos resultados a partir de um software de modelagem 2D, neste caso em específico, optou-se pelo AutoCAD como ferramenta de simulação.

Começando a aplicação das medidas de proteção na estrutura formada pela conveniência do posto de gasolina, simulou-se a instalação de um subsistema de captação a partir do método do ângulo de proteção. O resultado obtido foi exibido na Figura 54 por meio de uma simulação em planta baixa, considerando a linha traçada como o limite da cobertura da conveniência:

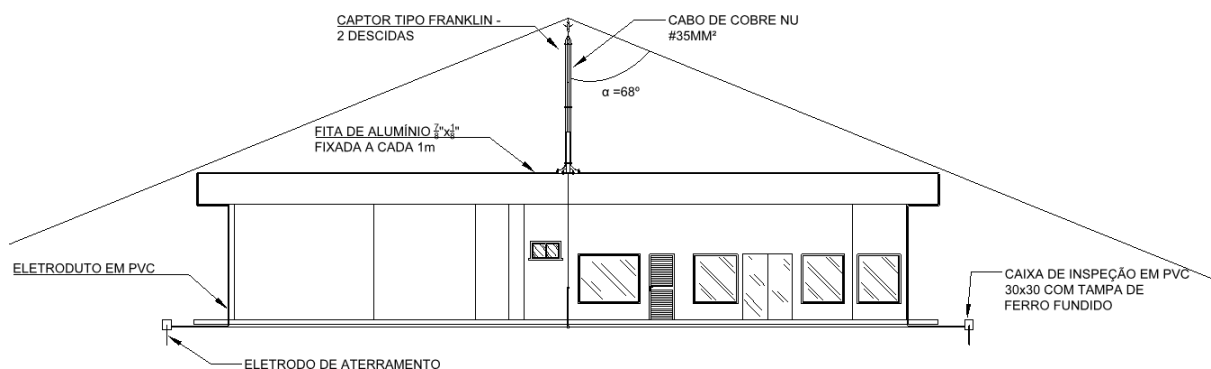
Figura 54 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método do ângulo de proteção para a conveniência do posto



Fonte: Autor

Para uma melhor visualização das descidas, foi aplicado um corte na planta baixa da conveniência representada anteriormente, exposto na Figura 55:

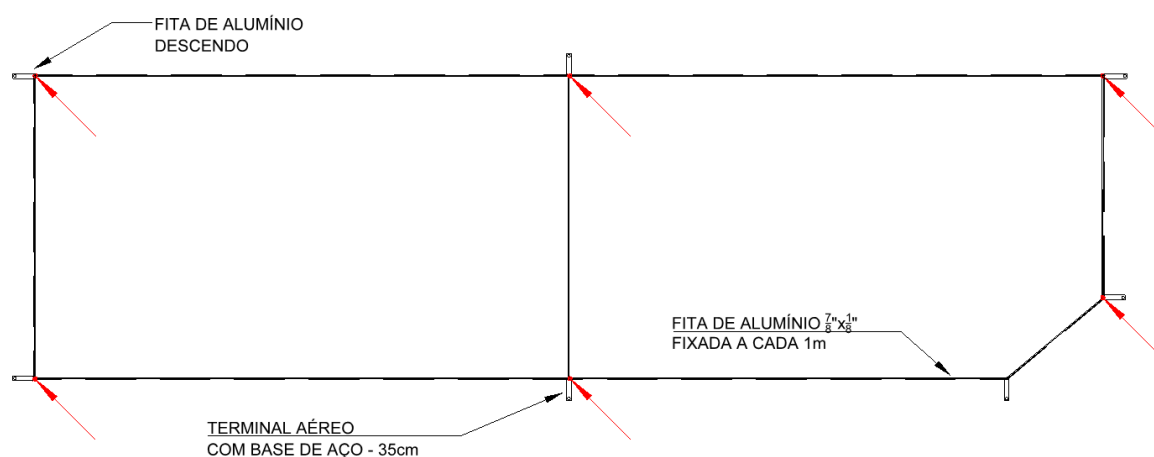
Figura 55 – Posicionamento em corte do subsistema de captação e de descida pelo método do ângulo de proteção para a conveniência do posto



Fonte: Autor

Partindo de um princípio diferente, também foi realizada a aplicação do subsistema de captação para a conveniência utilizando o método das malhas. O resultado em planta baixa da cobertura foi representado pela Figura 56 a seguir:

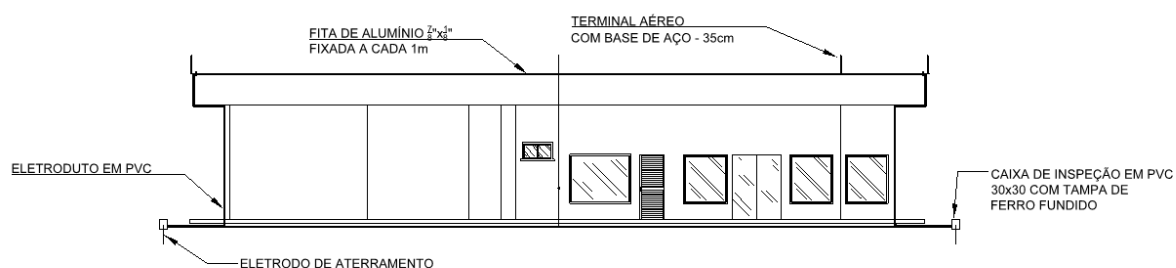
Figura 56 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método das malhas para a conveniência do posto



Fonte: Autor

No corte representado pela Figura 57 abaixo, é possível identificar as descidas e também alguns dos terminais aéreos, além da interconexão entre as descidas iniciando o processo de instalação do subsistema de aterramento:

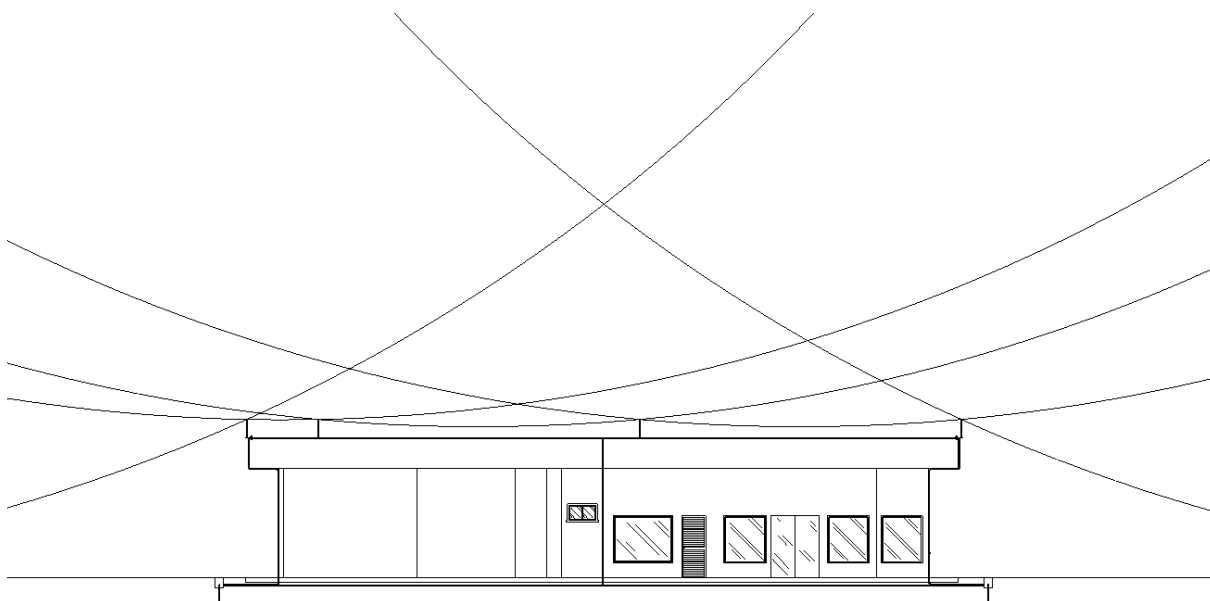
Figura 57 – Posicionamento em corte do subsistema de captação e de descida pelo método das malhas para a conveniência do posto



Fonte: Autor

Por fim, a conveniência do posto de gasolina recebeu a implementação do subsistema de captação por meio do método da esfera rolante. Como manda a norma, para um SPDA de classe IV, a esfera rolante deve possuir um raio de 60 metros, e deve ser rotacionada em todas as direções da estrutura. Aqui, a esfera foi transladada tanto no eixo horizontal envolvendo a largura da conveniência, quanto no eixo vertical que identifica seu comprimento. Na Figura 58 a seguir, tem-se uma representação de como essa movimentação foi concebida horizontalmente:

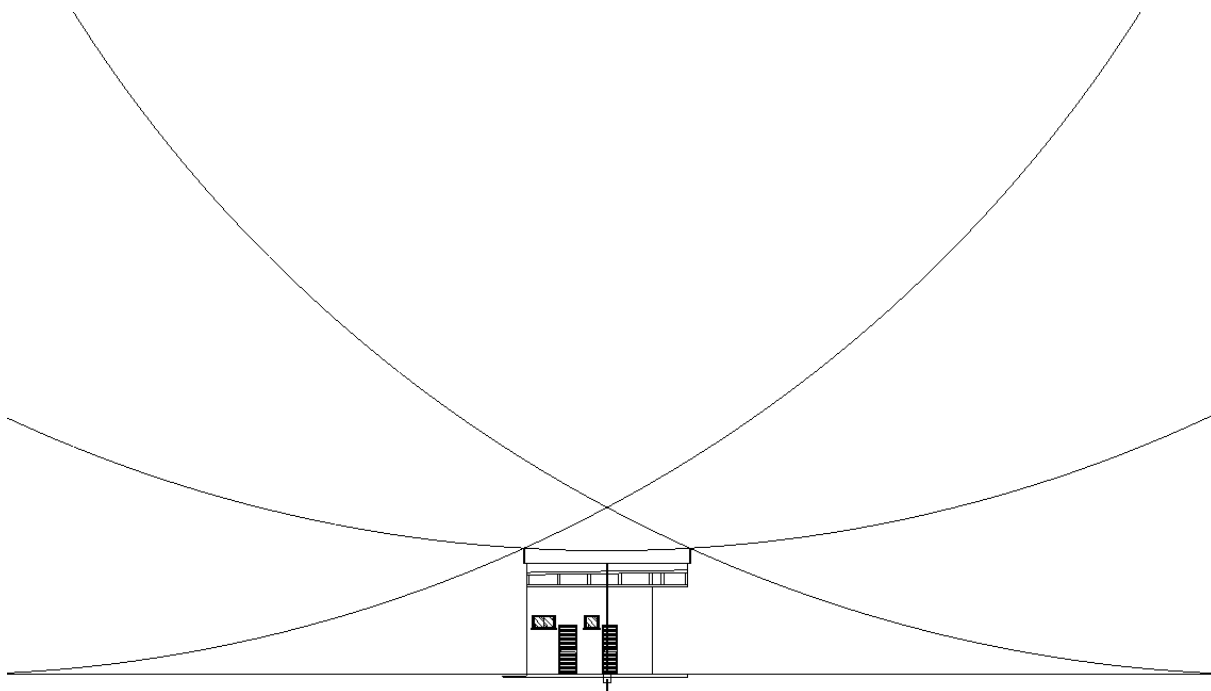
Figura 58 – Posicionamento das esferas rolantes em corte horizontal para a conveniência do posto



Fonte: Autor

E, conseqüentemente, seu posicionamento vertical explicitado pela Figura 59:

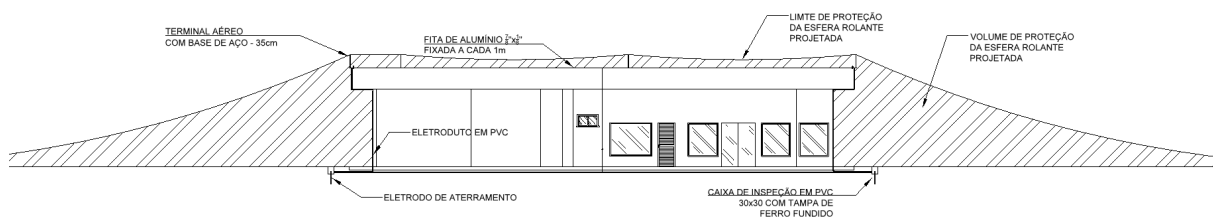
Figura 59 – Posicionamento das esferas rolantes em corte vertical para a conveniência do posto



Fonte: Autor

Após esta etapa, foi promovido uma aproximação visual em relação a estes cortes, em vista de tornar mais nítida a identificação dos pontos de intersecção das esferas e os condutores que ali deveriam ser posicionados a fim de completar a implementação da proteção, além dos volumes de proteção proporcionados com o devido posicionamento das esferas e destes condutores, neste caso, terminais aéreos semelhantes aqueles utilizados pelo método das malhas. Abaixo está relacionada a Figura 60 exibindo o corte horizontal que apresenta estes fatores a serem ilustrados:

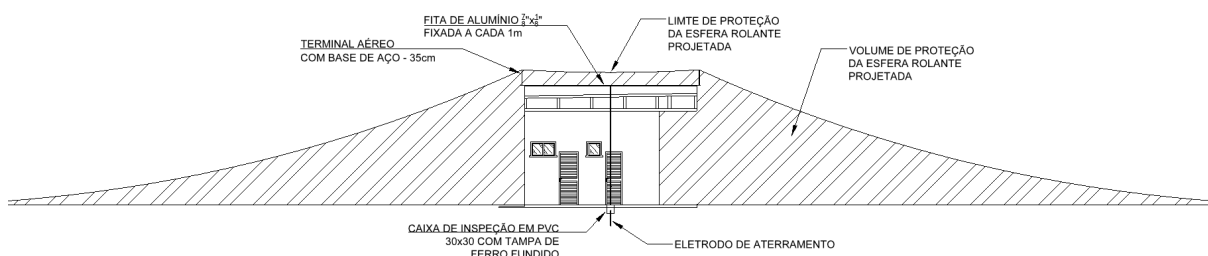
Figura 60 – Posicionamento em corte horizontal do subsistema de captação e de descida pelo método da esfera rolante para a conveniência do posto



Fonte: Autor

E, também o corte vertical aproximado visualmente presente na Figura 61:

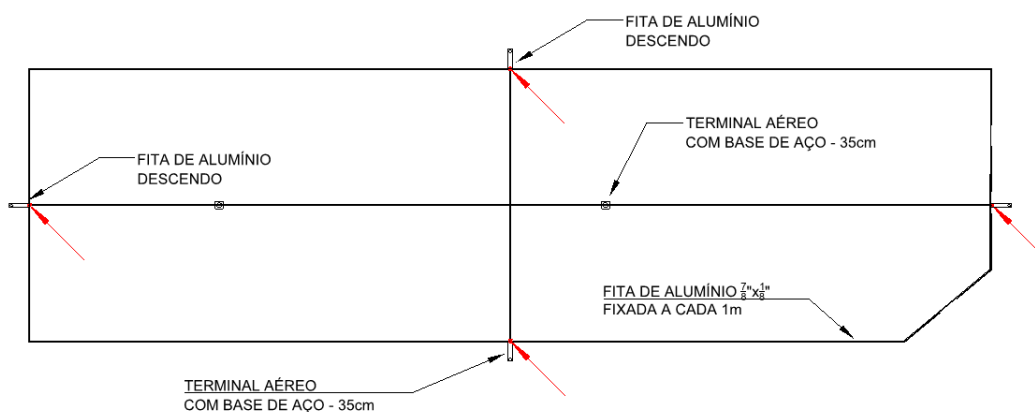
Figura 61 – Posicionamento em corte vertical do subsistema de captação e de descida pelo método da esfera rolante para a conveniência do posto



Fonte: Autor

Ao final, com uma vista superior, a planta baixa da conveniência resumiu a configuração de condutores conforme a Figura 62:

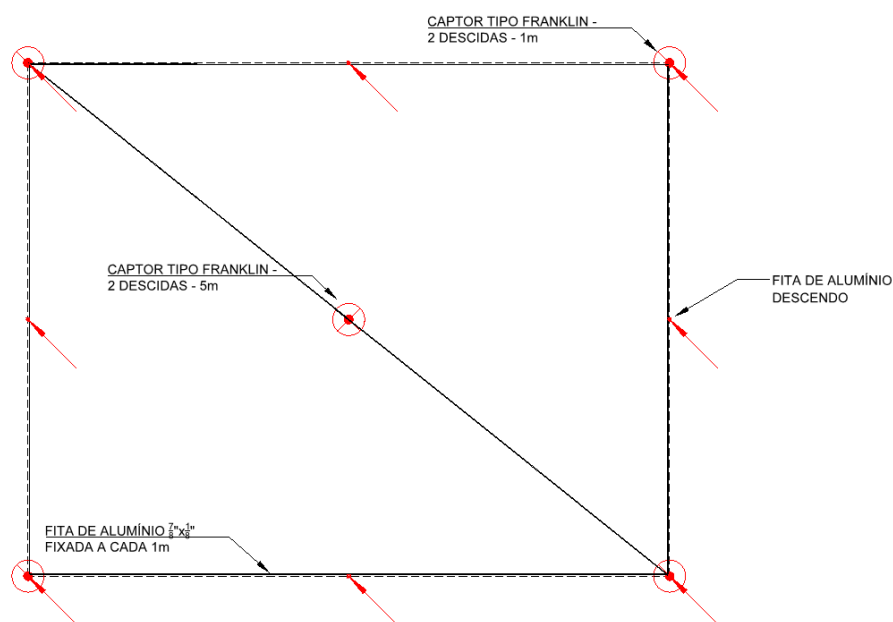
Figura 62 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método da esfera rolante para a conveniência do posto



Fonte: Autor

Definidos os subsistemas de captação e descida para a conveniência, foi estipulado o mesmo estudo, na mesma ordem cronológica e didática, para o conjunto das ilhas de abastecimento e um SPDA de classe II. Sendo assim, primeiramente, estipulou-se o posicionamento do subsistema de captação por meio do método do ângulo de proteção segundo a Figura 63 a seguir:

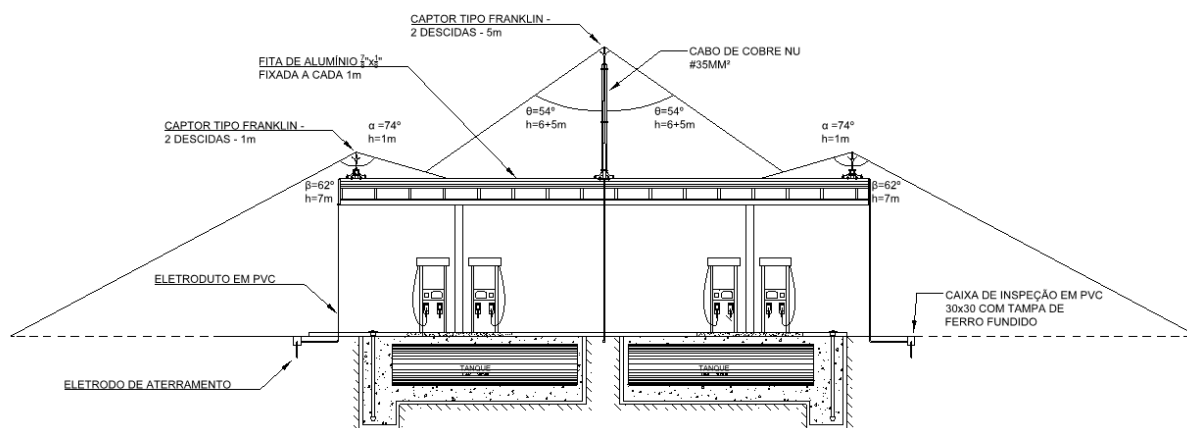
Figura 63 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método do ângulo de proteção para as ilhas de abastecimento do posto



Fonte: Autor

Em corte, é possível notar que o ângulo proposto pelos captadores franklin de 1 metro de altura em relação ao solo da cobertura, são os mesmos identificados para uma altura de 2 metros pela Figura 51, já que essa é a altura mínima que se pode ter registro e uma correspondência segura pela norma, sendo assim, utilizada esta altura de 2 metros para a projeção do ângulo. Desta forma, a vista para os subsistemas de descida e de captação possuem o aspecto em corte definido na Figura 64:

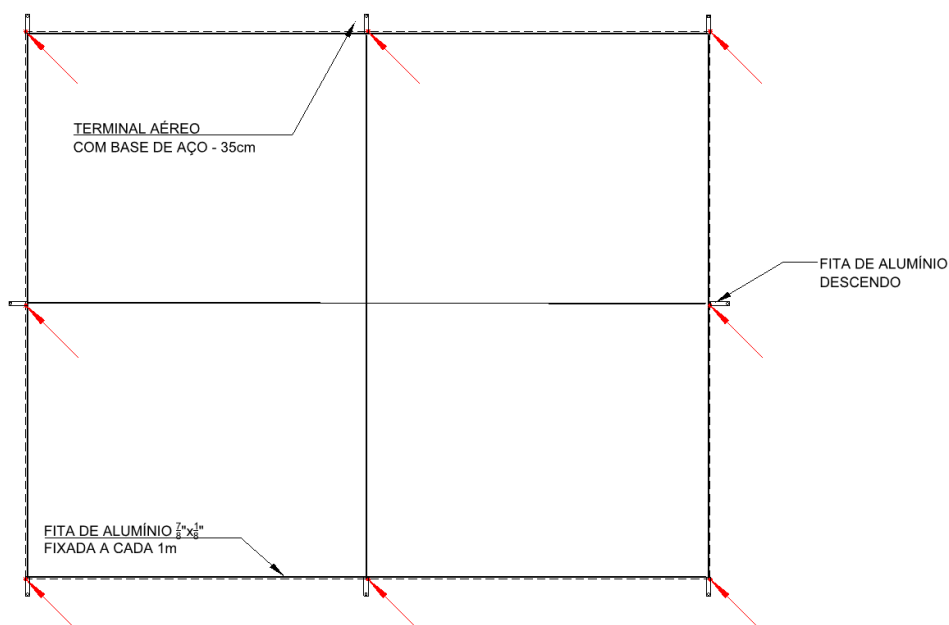
Figura 64 – Posicionamento em corte do subsistema de captação e de descida pelo método do ângulo de proteção para as ilhas de abastecimento do posto



Fonte: Autor

Em seguida, o subsistema de captação foi posicionado através do método das malhas. O resultado foi demonstrado na Figura 65 abaixo por meio da planta baixa do conjunto das ilhas:

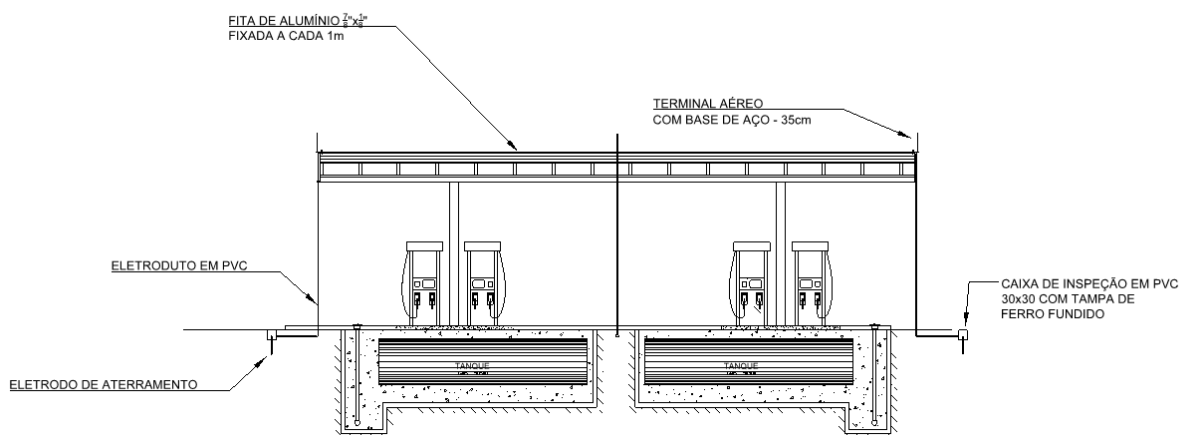
Figura 65 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método das malhas para as ilhas de abastecimento do posto



Fonte: Autor

Introduzindo uma vista em corte da estrutura, tem-se a representação apresentada pela Figura 66:

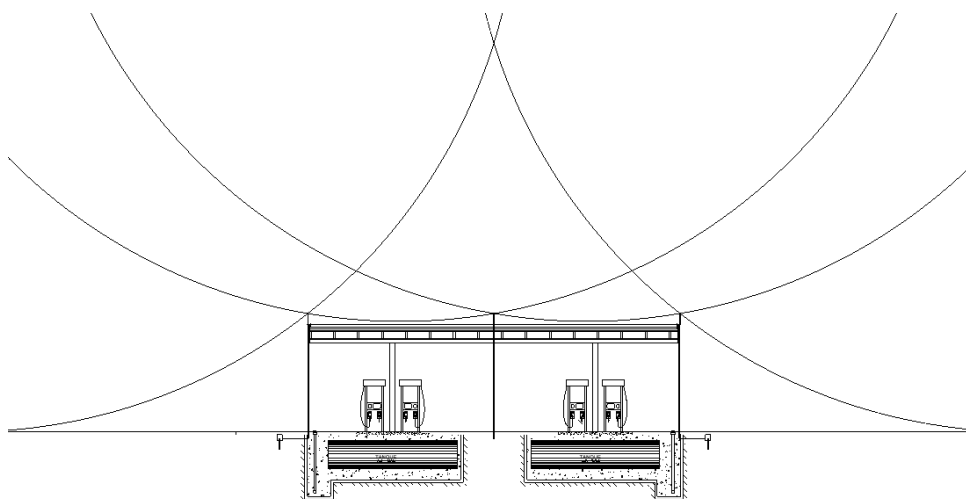
Figura 66 – Posicionamento em corte do subsistema de captação e de descida pelo método das malhas para as ilhas de abastecimento do posto



Fonte: Autor

Ao final, foi implementado o subsistema de captação na estrutura que abriga as ilhas de abastecimento por meio do método das esferas rolantes. Neste caso, por ser definido um SPDA de classe II no gerenciamento de risco, a esfera aqui utilizada foi elaborada com um raio de 30 metros. Abaixo, a Figura 67 representa um corte horizontal que identifica a translocação da esfera rolante na estrutura:

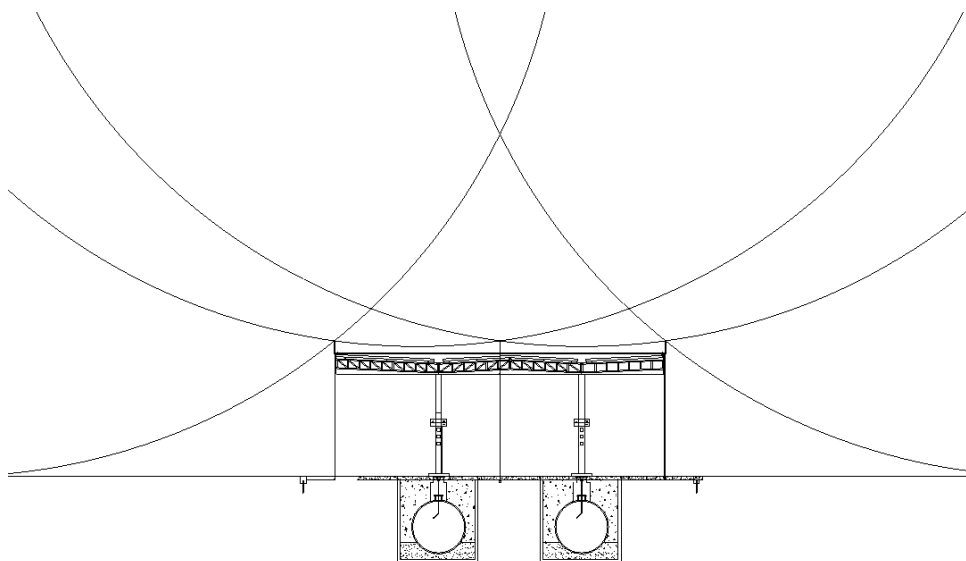
Figura 67 – Posicionamento das esferas rolantes em corte horizontal para as ilhas de abastecimento do posto



Fonte: Autor

O mesmo corte também foi realizado priorizando a vista vertical do conjunto de ilhas, corte expresso pela Figura 68:

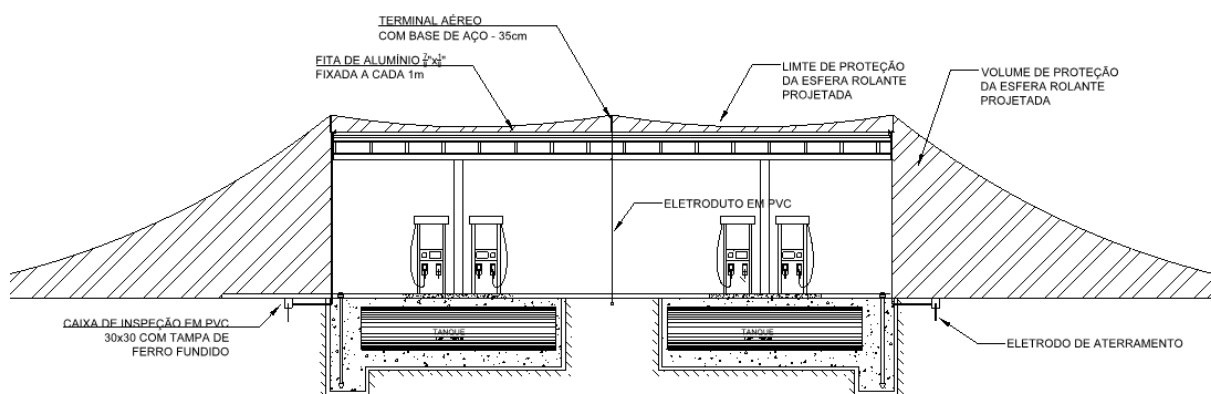
Figura 68 – Posicionamento das esferas rolantes em corte vertical para as ilhas de abastecimento do posto



Fonte: Autor

Apresentando os mesmos cortes acrescidos de uma aproximação visual à imagem, a identificação dos limites das esferas e como eles produzem o volume de proteção para a estrutura, tem-se uma configuração horizontal expressada pela Figura 69:

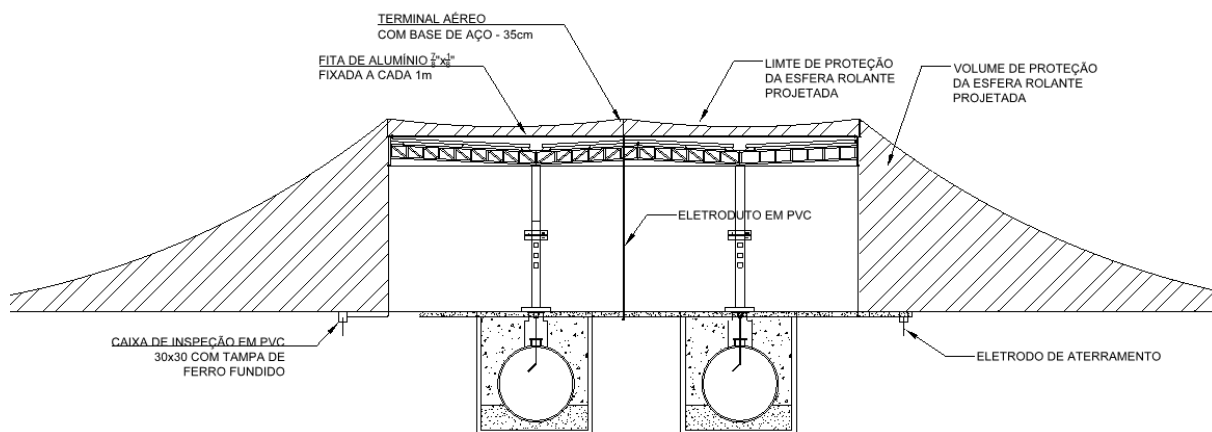
Figura 69 – Posicionamento em corte horizontal do subsistema de captação e de descida pelo método das esferas rolantes para as ilhas de abastecimento do posto



Fonte: Autor

Logo, o mesmo corte realizado de maneira vertical está representado pela Figura 70 a seguir:

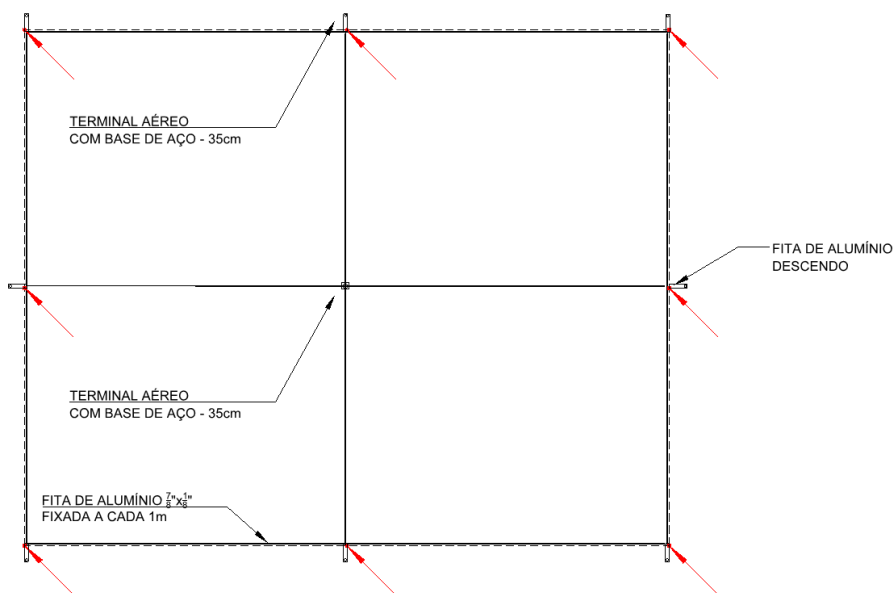
Figura 70 – Posicionamento em corte vertical do subsistema de captação e de descida pelo método das esferas rolantes para as ilhas de abastecimento do posto



Fonte: Autor

Toda essa conjuntura e configuração foi representada também em vista aérea, através da planta baixa do conjunto das ilhas de abastecimento exibidas conforme a Figura 71:

Figura 71 – Posicionamento do subsistema de captação pelo método das esferas rolantes para as ilhas de abastecimento do posto



Fonte: Autor

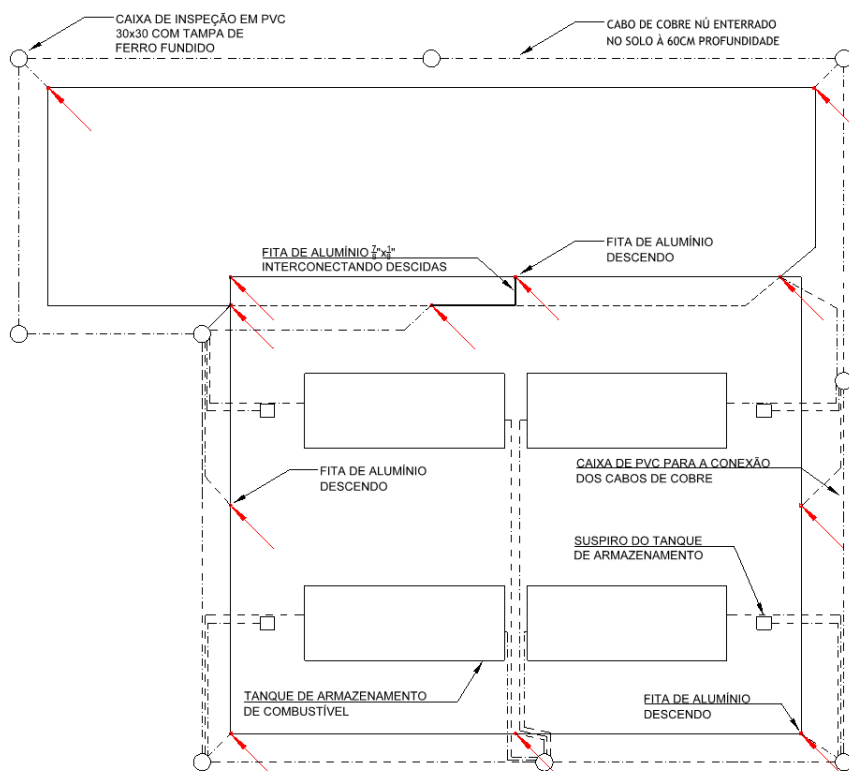
Com toda a concepção individual dos subsistemas de captação e de descida definidos para ambas as estruturas de análise, o conceito do estudo será direcionado mais uma vez para o subsistema de aterramento, último ponto de estudo e modelagem. Para tanto,

foram definidas três simulações distintas, cada uma delas possuindo como fundamento de diferenciação o método utilizado para o posicionamento dos subsistemas de captação e descida. Ou seja, foi desenvolvida uma modelagem para o subsistema de aterramento do posto de gasolina tomando por base as modelagens realizadas para a conveniência e as ilhas de abastecimento do posto utilizando o método do ângulo de proteção, uma segunda modelagem para este aterramento utilizando as modelagens propostas atribuindo o método das malhas às estruturas, e por fim uma última modelagem realizada a partir da concepção criada para a conveniência e as ilhas de abastecimento pelo método da esfera rolante.

Sendo assim, como a aplicação de diferentes métodos e análises foi implementada individualmente separando ambas as estruturas do modelo de estudo, o primeiro passo foi novamente agrupá-las, já que o subsistemas de aterramento deve ser conjunto e partilhado por ambas. Após esta etapa, as mesmas descidas e posicionamento de captadores foram projetadas neste novo desenho para que se tivesse uma ideia de como interconectar cada uma destas descidas no subsistema de aterramento, identificando seus terminais, pontos de contato neste aterramento. Como a partir deste momento as estruturas se agruparam e o conjunto estrutural das ilhas de abastecimento sobrepõe a conveniência do posto de gasolina, o posicionamento das descidas sofreu algumas mudanças a fim de serem compartilhadas por ambas as estruturas nos pontos de intersecção.

Desse modo, foram listadas três representações distintas para a implementação do subsistema de aterramento, a primeira delas unificando os subsistemas de captação e de descida proporcionados pelo método do ângulo de proteção para a conveniência e para as ilhas de abastecimento, a segunda seguindo os mesmos moldes, porém com a aplicação de conceitos através do método das malhas para a conveniência e para as ilhas, e por último, o último subsistema de aterramento elaborado teve por base as configurações proporcionadas pelo método da esfera rolante para as estruturas. Desta forma, a primeira representação exibida pela Figura 72 abaixo, tem por referência o método do ângulo de proteção:

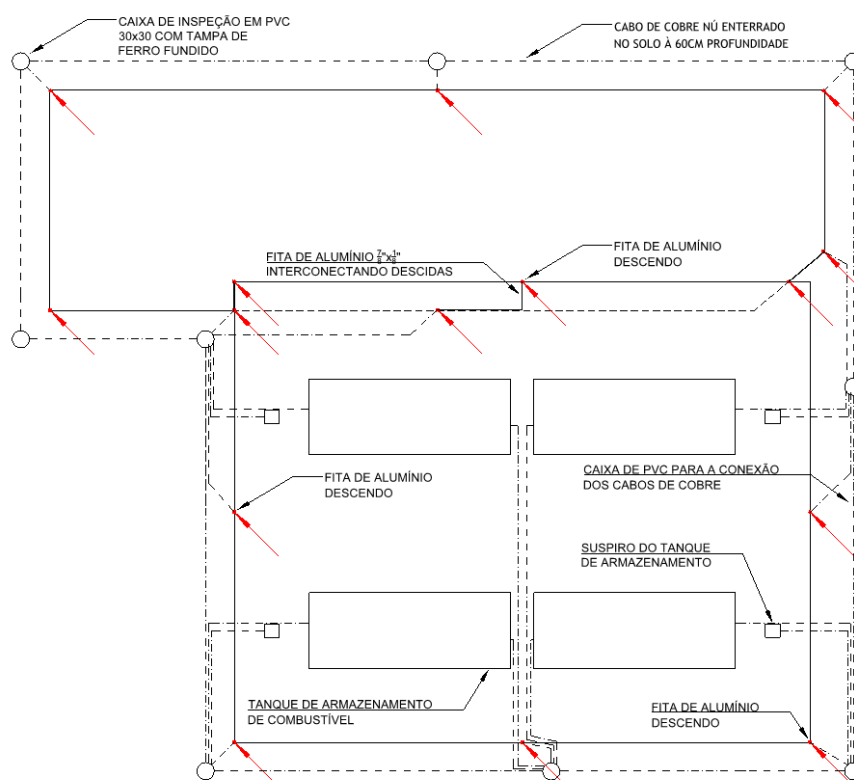
Figura 72 – Configuração do subsistema de aterramento através das composições propostas pelo método do ângulo de proteção



Fonte: Autor

O segundo modelo se aproxima muito do primeiro, possuindo uma planta baixa com o aspecto definido pela Figura 73:

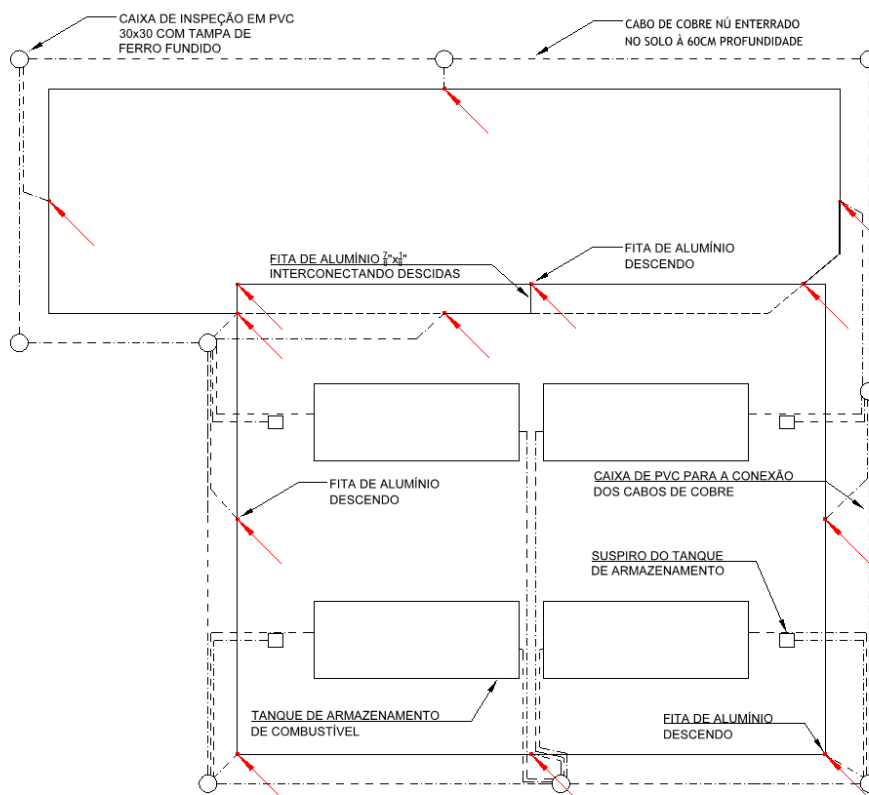
Figura 73 – Configuração do subsistema de aterramento através das composições propostas pelo método das malhas



Fonte: Autor

E, por fim, a terceira configuração para o subsistema de aterramento do posto de gasolina tomando por base os conceitos promovidos para as estruturas em questão, a partir do método das esferas rolantes está exibido conforme a Figura 74:

Figura 74 – Configuração do subsistema de aterramento através das composições propostas pelo método das esferas rolantes



Fonte: Autor

Idealmente, a norma NBR 5419-3 recomenda o aterramento de tanques metálicos de armazenamento de combustíveis, conectando os mesmos ao eletrodo de aterramento a partir de duas conexões equidistantes, já que os tanques em questão não ultrapassam o limite de 20 metros de comprimento. Além destes, optou-se por aterrar também as tubulações que fazem parte do suspiro do tanque para uma maior proteção, já que assim como os tanques, as mesmas também projetam áreas classificadas na área de estudo. Um possível arranjo para estas conexões é exibido pela Figura 75 abaixo:

Figura 75 – Possível conexão dos tanques de armazenamento e dos suspiros ao eletrodo de aterramento



Fonte: Autor

4.5 Considerações finais acerca dos estudos para a conveniência do posto de gasolina

Para a aplicação do método do ângulo de proteção à estrutura, foi escolhido um captor do tipo franklin com uma altura de 5 metros que possui duas descidas distintas. Optando-se pelo encaminhamento mais curto e direto, estas duas descidas da ponta do captor foram realizadas a partir de um cabo de cobre nu com seção de $35mm^2$, que por meio de conexões, foi alterado para um encaminhamento realizado por fita de alumínio de dimensões $7/8" \times 1/8"$ ao tocar o solo da cobertura da conveniência, devido ao seu baixo custo de manutenção, sendo encaminhadas até as extremidades centrais, e em seguida para as saliências da edificação, construindo um anel equipotencializado na cobertura. Para o subsistema de descida, optou-se pela realização de 3 descidas distintas indicadas pela seta vermelha na imagem anterior, que juntas, poderiam respeitar os limites de um SPDA de classe IV para o próprio distanciamento mútuo entre elas, ou seja, para qualquer lado de medição realizado, a distância máxima entre as descidas respeitará os 20 metros exigidos pela norma, apresentados pela Figura 54.

Pela imagem proporcionada pela Figura 55 é possível notar que a estrutura, de fato, se concentra no interior do volume de proteção proporcionado pelo ângulo de proteção do captor franklin. Além disso, percebe-se que ambas as 3 descidas idealizadas possuem uma interligação entre elas assim que tocam o solo. Isso acontece pela norma exigir a instalação do subsistema de aterramento em formato anelar, portanto, essa interligação das descidas em suma, representa o princípio de instalação do subsistema de aterramento ao modelo, interligação essa realizada por meio de um encaminhamento em eletrodutos de PVC já que serão enterrados, com seus limites atingindo as caixas de inspeção, que são pontos de interconexões entre o final do encaminhamento das descidas de diversos pontos e o

eletrodo de aterramento, servindo muitas vezes para a manutenção do sistema de SPDA externo das instalações e realização de testes de continuidade.

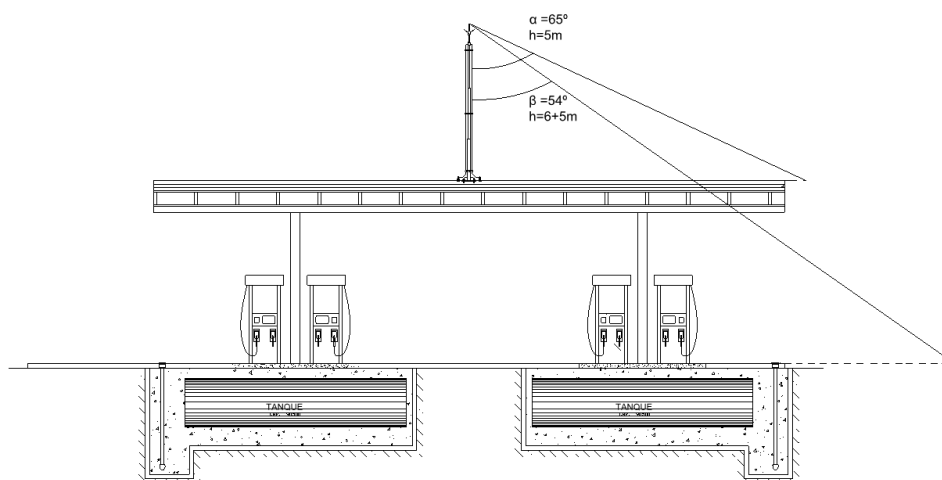
Pelo método das malhas, uma configuração diferente do método do ângulo de proteção foi apresentada, para o posicionamento do subsistema de captação. Neste caso, como a estrutura não possui o volume de proteção, optou-se pela utilização de terminais aéreos de 35 centímetros em cada uma das saliências da cobertura. Para a disposição da malha, como o limite infringido era o de 20 metros de distanciamento entre condutores, como diz a Figura 49 para um SPDA de classe IV, foi necessário acrescentar uma ramificação central a linha de condutores que se interconectavam pelas extremidades. Isso acontece, pois a cobertura possui um comprimento horizontal de mais de 20 metros, o que não corroboraria para o exercício dos limites de distância de um SPDA de classe IV caso as interligações da malha tivessem sido realizadas somente pelos limites da extremidade da cobertura da conveniência, fato que levou também a inserção de dois terminais adicionais a fim de contribuir na equalização da diferença de potencial do anel de equipotencialização superior, totalizando 7 terminais. Diferentemente do caso anterior, aqui foram idealizadas 6 descidas a fim de favorecer a atuação destes terminais, representação exibida pela Figura 56.

Para o método das esferas rolantes, foram utilizadas 5 esferas com raio de 60 metros transladadas no sentido horizontal da estrutura, e outras 3 esferas de mesmo raio transladadas no sentido vertical da estrutura. Estas esferas, em momento algum, tocaram a estrutura, realizando este contato apenas nos captadores disponibilizados para as mesmas, configuração essa que apresentou um aspecto diferente dos outros modelos até então empregados, como representado na Figura 62.

4.6 Considerações finais acerca dos estudos para as ilhas de abastecimento do posto de gasolina

Após sucessivas tentativas de alcançar um limite de altura e ângulo que pudesse abrigar a estrutura formada pelas ilhas de abastecimento na totalidade, e assim, contemplar também a região em torno da mesma garantindo uma melhor proteção, nenhuma altura considerada para o captor franklin principal foi suficiente, já que todos os ângulos de proteção projetados deixavam as saliências da cobertura das ilhas desprotegidas, como mostra a Figura 76 abaixo:

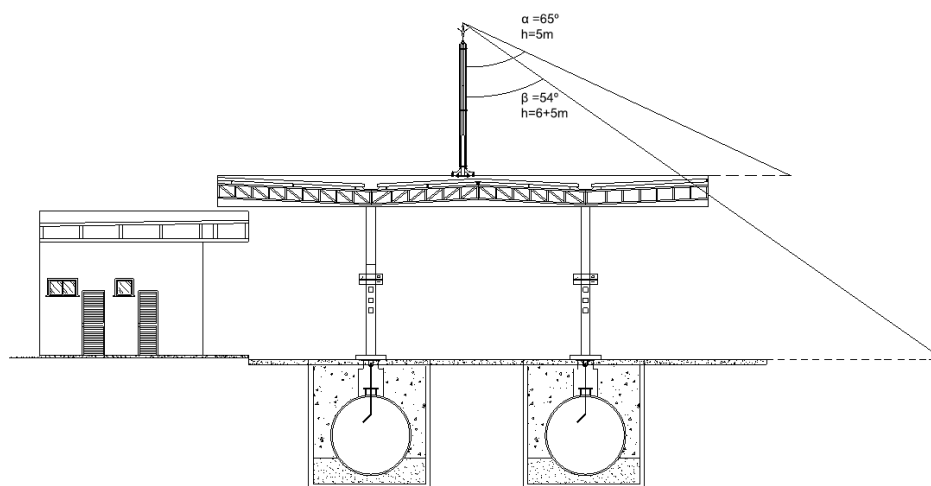
Figura 76 – Comparação horizontal entre os ângulos de proteção para as ilhas de abastecimento



Fonte: Autor

Proteção que também não foi contemplada no eixo vertical da estrutura, como mostra a Figura 77:

Figura 77 – Comparação vertical entre os ângulos de proteção para as ilhas de abastecimento



Fonte: Autor

Nesse sentido, a solução alternativa adotada foi a de permanecer com o volume original de proteção proporcionado pelo captor franklin principal de 5 metros centralizado, reduzindo seu limite de proteção apenas a cobertura da estrutura que abriga as ilhas de abastecimento, e incrementar ao modelo 4 novos captadores franklin de tamanho reduzido nas extremidades salientes desta mesma cobertura das ilhas. Essa medida, além de suprir a falta de proteção nos arredores das ilhas de abastecimento, acrescentando novos volumes

de proteção a estrutura, também induziu a proteção adicional das saliências da cobertura da estrutura, corroborando com os princípios da norma. O fato é que, na situação encontrada anteriormente para a análise da conveniência, a simples adoção do método do ângulo de proteção a partir de um único captor franklin com 5 metros de altura centralizado na cobertura, garantiu automaticamente a proteção de toda a estrutura e também da região ao seu redor, o que não aconteceu utilizando o mesmo princípio com apenas um captor franklin central. Sendo assim, esta adição de captos franklin de tamanho reduzido, com altura de aproximadamente 1 metro posicionados nas saliências da edificação, foi demonstrada pela Figura 64. Nesta figura é possível observar que os mini captos apresentam dois cones diferentes de proteção, com ângulos diferentes, o primeiro surge considerando apenas sua altura de 1 metro e o segundo cone de proteção considerando sua altura somada a altura da cobertura das ilhas em relação ao solo.

Durante a implementação dos outros métodos, malhas e esferas rolantes, muito pouco foi modificado conceitualmente em relação à aplicação dos mesmos métodos para a estrutura da conveniência, salve a exceção de que o tratamento para as ilhas de abastecimento era referente ao um SPDA de classe II, e não mais de classe IV. Todavia, um ponto de observação e de contraste se fez presente durante o estudo, no que diz respeito ao subsistema de descida para as ilhas. A norma NBR 5419-3, dentro de seu anexo D, propõe que para estruturas contendo zonas de risco, todos os elementos externos do SPDA, incluindo os subsistemas de captação e descida, devem ser implementados na estrutura a pelo menos 1 metro de distância das zonas de risco, no caso de estudo presente, os suspiros dos tanques de armazenamento de combustível e seus contatos com as bombas de abastecimento, medida esta que acaba por não permitir que as descidas sejam centralizadas e instaladas nos pilares que sustentam a cobertura da edificação, por estas estarem muito próximas destes pontos de risco. Portanto, foi considerado um encaminhamento de PVC nas extremidades do conjunto a fim de respeitar estes limites.

4.7 Estudo de viabilidade técnica

Considerando que ambos os métodos cumpriram o papel e a função designada desde o início do documento aqui redigido, considerando os valores, recomendações e medidas protetivas que constam em todas as partes da norma ABNT NBR 5419, o principal ponto de análise para realizar o estudo de viabilidade técnica dos três modelos finais produzidos no documento irá se resumir ao custo de implementação e manutenção dos mesmos, já que no quesito benefício, todos possuem o mesmo valor e nível de proteção.

Para tanto, foi elaborada uma quantificação no software AutoCAD para a identificação de quais e quantos componentes foram utilizados em cada um dos métodos propostos para os três modelos finais. Sendo assim, foi considerada a contagem do número de mastros e captos franklin utilizados, bem como o número de terminais aéreos utilizados para ambos

os métodos das malhas e das esferas rolantes e o número de caixas de inspeção, que possuiu o mesmo valor para os três modelos. No caso das barras de alumínio, somou-se o comprimento total para cada um dos modelos e dividiu-se o valor em 3, já que este material é revendido em barras de 3 metros, mesma lógica utilizada para as descidas que utilizaram os eletrodutos de PVC para realizar a transição e o encaminhamento das descidas para cabos de cobre que seriam utilizados para o subsistema de aterramento destes modelos. Ao final, realizou-se a contagem deste mesmo cabo de cobre, que por ser revendido por metro, resumiu de maneira simples a quantidade total necessária em cada modelo.

Assim, descrevendo e nomeando cada um dos modelos pelos seus respectivos métodos de implementação do subsistema de captação, tem-se o primeiro método relacionando a estrutura de SPDA externo desenvolvida para a conveniência do posto de gasolina e o conjunto de ilhas de abastecimento concebido a partir do método do ângulo de proteção. Para este método de instalação, foram considerados os seguintes componentes ao total:

- Captor Franklin com 2 descidas laterais (6x);
- Mastro para a fixação do captor - 5 metros (2x);
- Mastro para a fixação do captor - 1 metro (4x);
- Barra chata em alumínio 7/8"x 1/8"x 3m - (70mm²) (x52);
- Eletroduto Rígido PVC Antichamas 3/4"com 3 metros (20x);
- Caixas de Inspeção com tampa em ferro fundido 30x30cm (9x);
- Cabo de Cobre Nu 35mm² – 7 Fios x Ø 2,50 mm (x205);

Para a estrutura de SPDA externo desenvolvida para a conveniência do posto de gasolina e o conjunto de ilhas de abastecimento concebido a partir do método das malhas, têm-se os seguintes componentes:

- Barra chata em alumínio 7/8"x 1/8"x 3m - (70mm²) (x58);
- Eletroduto Rígido PVC Antichamas 3/4"com 3 metros (22x);
- Caixas de Inspeção com tampa em ferro fundido 30x30cm (9x);
- Cabo de Cobre Nu 35mm² – 7 Fios x Ø 2,50 mm (x207);
- Minicaptor em barra chata de alumínio 35mm (x15);

E, por fim, para a estrutura de SPDA externo desenvolvida para a conveniência do posto de gasolina e o conjunto de ilhas de abastecimento concebido a partir do método das esferas rolantes, têm-se os seguintes componentes:

- Barra chata em alumínio 7/8"x 1/8- (70mm²) (x67);
- Eletroduto Rígido PVC Antichamas 3/4"com 3 metros (18x);
- Caixas de Inspeção com tampa em ferro fundido 30x30cm (9x);
- Cabo de Cobre Nu 35mm² – 7 Fios x Ø 2,50 mm (x210);
- Minicaptor em barra chata de alumínio 35mm (x15);

Com todos os materiais quantificados em uma lista de material, foi possível estudar qual seria o aporte financeiro que deveria ser realizado para cada um dos modelos, cotando o orçamento de cada componente do SPDA externo dos mesmos por meio de uma empresa. Para contemplar esta cotação de preço dos materiais, foi enviada a lista de material para a companhia Termotécnica Para-Raios, que atua no mercado de SPDA desde 1974 e que reencaminhou o valor unitário de cada componente em pouco tempo. Com o orçamento em mãos, foi elaborado o cálculo comparativo de custo total de cada um dos modelos finais em uma planilha de Excel para a observação e identificação de qual modelo tem o melhor custo-benefício. Este comparativo é exibido conforme a Figura 78 :

Figura 78 – Custo comparativo final para o projeto de SPDA do posto de gasolina relacionando cada um dos modelos finais propostos

Valor UN	COMPONENTES	MODELO 1 - ÂNGULO DE PROTEÇÃO		MODELO 2 - MALHAS		MODELO 3 - ESFERAS ROLANTES	
		QUANTIDADE	VALOR TOTAL	QUANTIDADE	VALOR TOTAL	QUANTIDADE	VALOR TOTAL
R\$ 130,81	CAPTORES FRANKLIN EM LATAO CROMADO P/ 2 DESCIDAS H=250MM	6	R\$ 784,86	0	R\$ -	0	R\$ -
R\$ 95,83	MASTROS PARA A FIXAÇÃO DE CAPTORES - 1 MT (PÇ)	4	R\$ 383,32	0	R\$ -	0	R\$ -
R\$ 478,41	MASTROS PARA A FIXAÇÃO DE CAPTORES - 5 MTS (PÇ)	2	R\$ 956,82	0	R\$ -	0	R\$ -
R\$ 23,70	BARRA CHATA CONDUTORA EM ALUMINIO SEM FUROS 7/8 X 1/8 X 3M – 70MM2 (UN)	52	R\$ 1.232,40	58	R\$ 1.374,60	67	R\$ 1.587,90
R\$ 23,24	ELETRODUTO PVC DIAM. 1 POL X 3M (UN)	20	R\$ 464,80	22	R\$ 511,28	18	R\$ 418,32
R\$ 74,87	CAIXA DE INSPECAO POLIPROPILENO DIAM 300 X 300MM DE ALTURA COM TAMPA DE FERRO FUNDIDO (UN)	9	R\$ 673,83	9	R\$ 673,83	9	R\$ 673,83
R\$ 39,04	CABO COBRE NU SECAO 35MM2, FORMACAO 7 FIOS X 2,5MM, ENCORDAMENTO CLASSE 2A CONFORME NBR 5419 E NBR 6524 (MT)	205	R\$ 8.003,20	207	R\$ 8.081,28	210	R\$ 8.198,40
R\$ 6,03	MINICAPTOR BR AL 7/8X1/8X300MM (PÇ)	0	R\$ -	15	R\$ 90,45	15	R\$ 90,45
	TOTAL		R\$ 12.499,23		R\$ 10.731,44		R\$ 10.968,90

Fonte: Autor

Nesta associação orçamentária, o único valor não identificado no orçamento produzido pela empresa Termotécnica Para-Raios foi aquele referente aos mastros para a fixação

do captor franklin, que foram deduzidos a partir de outros valores de outras empresas no mercado. Outro ponto de observação é a de que, nesta pesquisa de preços para os mastros, não foi identificada a existência de um mastro com altura mínima de 1 metro, fato que também não levou a desconsideração do mesmo para o modelo por exclusão, já que o mesmo ainda poderia ser confeccionada por demanda, apesar desta possibilidade não ter sido estudada. Com a amostra comparativa final, foi possível identificar quais dos modelos finais elaborados seria o mais conveniente para o posto de gasolina.

Primeiramente, obteve-se um custo final para o modelo construído a partir da metodologia dos ângulos de proteção de R\$ 12.499,23. O custo aqui identificado está assiduamente relacionado a quantidade e o custo dos captores franklin e seus respectivos mastros de sustentação, que por si só, correspondem a 1/6 do valor total de implementação. Entretanto, foi possível observar o surgimento de outro fator intrínseco à decisão de realizar a construção do modelo a partir da utilização de um número tão alto de captores franklin, a diminuição da quantidade de outros componentes pertencentes a este SPDA externo, no caso as barras de alumínio e o cabos de cobre do subsistema de aterramento. Apesar deste contra balanceamento, analisando a tabela mais uma vez, também é possível pontuar que a utilização de uma quantidade menor de cobre e alumínio não altera significativamente o valor final do custo do SPDA, observação que pode ser certificada comparando a utilização destes materiais nos outros modelos e seus respectivos custos comparados as suas quantidades.

Para o custo final de implementação do SPDA externo, considerando o modelo proposto pelo método das malhas, foi identificado o menor valor dentre os três modelos analisados. Para este acontecimento, alguns fatores foram catalogados com protagonismo, como a quantidade nula de mastros e captores franklin utilizados, que aqui foram substituídos, por terminais aéreos de composição com base de alumínio, diferentes dos captores construídos em latão. Essa relação é identificada pelos valores unitários de cada componente, já que a soma do custo dos terminais aéreos utilizados representa aproximadamente 11% da soma do custo de todos os captores utilizados no modelo anterior. Quando considerados os mastros nos cálculos, essa porcentagem chega a 4% do custo da soma dos captores e mastros.

Já quando o modelo proposto pelas malhas é comparado ao modelo proposto pelo método das esferas rolantes, obtém-se um custo de instalação de componentes muito semelhante, com uma pequena diferença de R\$ 237,46 acrescidos no último método. Isto ocorre devido ao modo com que os modelos utilizam os mesmos componentes apesar de configurá-los e conectá-los de maneiras distintas, no caso, em ambos foram utilizados 15 terminais aéreos, aproximadamente o mesmo comprimento de cabos de cobre e de eletrodutos de PVC, por exemplo. Chegou-se a conclusão de que dentro os métodos disponíveis para a alocação do subsistema de captação e a consequente alocação indireta que os métodos propõem para os subsistemas de descida e de aterramento, o método das malhas se apresentou como aquele que possui o melhor custo-benefício para uma classe

de SPDA classe IV para a conveniência do posto de gasolina, e um SPDA de classe II para a conjunto de ilhas de abastecimento deste posto, considerando a localização e o ambiente externo urbano descrito para o estudo.

Portanto, chegou-se a conclusão de que dentro os métodos disponíveis para a alocação do subsistema de captação e a consequente alocação indireta que os métodos propõem para os subsistemas de descida e de aterramento, o método das malhas se apresentou como aquele que possui o melhor custo-benefício para uma classe de SPDA classe IV para a conveniência do posto de gasolina, e um SPDA de classe II para a conjunto de ilhas de abastecimento deste posto, considerando a localização e o ambiente externo urbano descrito para o estudo.

5 CONCLUSÃO

Por conclusão, foi definido que ambos os elementos temáticos apresentados no início do excerto e os resultados obtidos ao final do mesmo, conseguiram conversar de maneira extremamente concisa, associando a expectativa criada com as indagações projetadas para desenvolvimento do estudo e o desfecho esperado da análise: o estudo de viabilidade técnica de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para um posto de gasolina. A princípio, foi criado o questionamento sobre qual seria a melhor alternativa de proteção de um posto de distribuição de combustíveis contra descargas atmosféricas, e a partir desta indagação inicial, foram introduzidos os conceitos acerca da proteção contra descargas atmosféricas e os cálculos envolvidos na solução proposta por cada proteção, para que se pudesse conduzir o desenvolvimento do trabalho rumo à composição final de elementos que juntos constituiriam os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas possíveis para a análise.

Para a temática principal, dois alicerces que se comunicam com clareza para sustentar o nível de criticidade e relevância da proposta foram utilizados, sendo eles: o fato de postos de gasolina serem caracterizados como áreas classificadas, que apresentam risco de explosão em algumas de suas áreas internas, e o Brasil como o país que possui a maior incidência de raios em todo o planeta. Desta forma, permitiu-se não só reafirmar a urgência e a necessidade absoluta das normativas brasileiras referentes ao tema para a proteção de construções com as mesmas características que o posto de gasolina considerando todos os tipos de perda, mas também a exposição de como deve ser realizada a leitura, a construção de conceitos, o gerenciamento de riscos e a definição de resultados que estas normativas propõem, análise muitas vezes realizada da forma incorreta devido aos seus fatores interpretativos e, muitas vezes extensos. Como proposta individual, o trabalho se faz protagonista em relação ao passo a passo de abordagem que escolheu utilizar, pontuando consistente e de maneira profunda cada tópico, cada metodologia, e cada raciocínio, externando os principais pontos de atenção, de cuidado e de enfoque para qualquer estudo técnico sobre os sistemas de proteção contra descargas atmosféricas no Brasil, subtema muitas vezes não tratado, ou não desenvolvido da maneira mais didática possível em outros trabalhos de mesma temática.

Para tanto, o trabalho foi elaborado e apoiado, principalmente, nos documentos redigidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas acerca do tema, normativas estas que ditam qual é a metodologia a ser seguida para se obter corretamente o sistema de proteção contra descargas atmosféricas mais efetivo dado o contexto ao qual uma construção específica está inserida. Desta forma, foram abordados, como fontes de metodologia do trabalho, os cálculos apresentados pela Norma Brasileira 5419:2015 e a interpretação dos mesmos após serem obtidos matematicamente, sobre qual o nível de proteção de SPDA deveria ser aplicado para o posto de gasolina. Definidos estes conceitos, o documento seguiu a análise

para cada um dos subsistemas de captação que poderiam ser escolhidos e implementados para este posto de gasolina, focando a estrutura do trabalho na composição física de cada método, como seria a aplicação de cada um deles no posto e, como este subsistema influenciaria os demais aspectos do SPDA. Para que ao final, fosse obtido um modelo visual e técnico para cada um dos três métodos de aplicação do subsistema de captação de um SPDA externo e de como seria o posto de gasolina com estas implementações.

Como conclusão geral, a temática sobre o estudo de viabilidade técnica de diferentes métodos de implementação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas para um posto de gasolina levantado inicialmente, obteve resultado satisfatório ao final do estudo. Como resultado, a proposta de identificar o processo de cálculo e de implementação do SPDA foi concretizada, o que permitiu atingir a verificação e a comparação visual, técnica e orçamentária dos diferentes métodos deste SPDA propostos.

Por meio de uma ressalva, vale a lembrança de que o trabalho redigido se limitou a não utilizar alguns níveis de detalhamento específicos que as normativas pontuam como, por exemplo, a coordenação entre dispositivos de proteção contra surtos, a utilização de descidas naturais pré-existentes nas edificações ao invés de descidas realizadas por meio das estruturas instaladas, a necessidade de descidas naturais para edificações maiores que 60 metros, ou até o processo de verificação da eficácia e de atendimento de requisitos quando diferentes tipos de captadores, condutores de descida e equipotencialização ou eletrodos de aterramento são utilizados. Além disso, uma solução que muitas vezes é empregada na construção civil predial é a combinação de diferentes métodos de implantação do subsistema de captação de um SPDA, como no caso de construções prediais que não possuem apenas um nível único de cobertura, e sim a presença de áticos e reservatórios, que dificultam a análise do gerenciamento de risco e que poderiam criar eventualmente uma diferença de potencial na condução da corrente da descarga atmosférica, caso um método convencional de SPDA fosse ali instalado. Nestes exemplos, apesar de não considerados neste trabalho, é comum realizar a proteção da cobertura do edifício por meio de um subsistema de captação composto por um captor franklin, e posteriormente interligá-lo a outro subsistema de captação composto por meio do método das malhas, no momento em que as estruturas físicas do prédio facilitem a instalação das malhas.

REFERÊNCIAS

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 5419-4:2015*: Proteção contra descargas atmosféricas - parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos da estrutura. Rio de Janeiro, 2015.

CADBLOCOS. *PROJETO COMPLETO DE POSTO DE GASOLINA*. Márcio Alves, s.d. Disponível em: <https://www.cadblocos.arq.br/pt-br/blocos/bloco-detallhes/10767/diversos/>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

CANAL DA ELETRICIDADE. *ENTENDA A VERDADEIRA FUNÇÃO DOS RAIOS , UMA ENGENHARIA DIVINA*. YouTube, 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IX6TV1vdbI0>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.

EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO. *Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo*. Brasília: Igor Cardim, 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2022-01/brasil-e-o-pais-com-maior-incidencia-de-raios-no-mundo#:~:text=Publicado%20em%2021%2F01%2F2022,de%20descargas%20el%C3%A9tricas%20registradas%20aqui>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.

FAM ENGENHARIA E PROJETOS. *Como escolher seu dispositivo de proteção contra surtos - DPS*. Goiânia: FAM Engenharia e Projetos, 2018. Disponível em: <https://engfam.com.br/como-escolher-seu-dispositivo-de-protecao-contrasurto-dps/>. Acesso em: 20 de maio de 2024.

GREEN, J. *Cidades de Papel*. [s.n.], 2008. Disponível em: https://static.tumblr.com/abwb28s/qmUmvag5w/cidades_de_papel_-_john_green.pdf. Acesso em: 16 de maio de 2024.

ILOS - ESPECIALISTAS EM LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN. *APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO NO DIMENSIONAMENTO DE BASES DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS*. Brasília: Alex Medeiros, 1998. Disponível em: <https://ilos.com.br/aplicacao-da-simulacao-no-dimensionamento-de-bases-de-distribuicao-de-combustiveis-2/>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.

INSP-THERM TRAFOS SERVICE ENGENHARIA ELÉTRICA. *SPDA, O QUE É, COMO FUNCIONA E QUAL O OBJETIVO?* São Paulo: INSP-THERM TRAFOS SERVICE ENGENHARIA ELÉTRICA, s.d. Disponível em: <https://insp-therm.com.br/o-que-e-spda-sistema-de-protecao-contradescargas-atmosfericas/>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Mapa de raios em tempo real*. Grupo de Eletricidade Atmosférica, s.d. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

JUNIOR, M. M. d. S. et al. *Análise do sistema de proteção contra descargas atmosféricas de um prédio de ensino superior em Manaus*. Manaus: Brazilian Journal of Development, 2021.

LIBERTY ENERGIA. *Como escolher o DPS ideal para proteção contra surtos elétricos?* Pernambuco: Liberty Energia, 2022. Disponível em: <https://www.libertyenergia.eco.br/como-escolher-o-dps-ideal-para-protecao-contrasurtos-eletricos/>. Acesso em: 20 de maio de 2024.

MOITA, T. *Atmosferas explosivas [ATEX]: zonas e equipamentos*. [s.n.], 2019. Disponível em: <https://intervir.pt/2019/06/19/atmosferas-explosivas-atex-zonas-e-equipamentos/>. Acesso em: 15 de maio de 2024.

TECNOBLOG. *O que significa NBR? [Normas técnicas ABNT]*. Leandro Kovacs, 2021. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-significa-nbr-normas-tecnicas-abnt/>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.

TOKEN ENGENHARIA. *DPS, o que é, como calcular e como instalar*. Rio de Janeiro: Token Engenharia, 2023. Disponível em: [https://tokenengenharia.com.br/dps-o-que-e-como-calcular-e-como-instalar/#:~:text=Um%20Dispositivo%20de%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20contra%20Surtos%20\(DPS\)%20funciona%20monitorando%20constantemente,pode%20danificar%20os%20equipamentos%20el%C3%A9tricos](https://tokenengenharia.com.br/dps-o-que-e-como-calcular-e-como-instalar/#:~:text=Um%20Dispositivo%20de%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20contra%20Surtos%20(DPS)%20funciona%20monitorando%20constantemente,pode%20danificar%20os%20equipamentos%20el%C3%A9tricos). Acesso em: 20 de maio de 2024.

APÊNDICE A - DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS

O Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) é um dispositivo de proteção de equipamentos elétricos de um sistema elétrico contra picos ou surtos de tensão transitórios que podem ser ocasionados neste sistema. Estes picos por sua vez, podem ser causados por diversos fatores como ligações, desligamento de grandes máquinas, flutuações na rede elétrica, ou até descargas atmosféricas. Na grande maioria das vezes, quando estes surtos elétricos ocorrem, os mesmos devem ser suprimidos e controlados prontamente, a fim de evitar danos graves a equipamentos eletrônicos sensíveis (TOKEN ENGENHARIA, 2023).

Como modo de operação, o DPS trabalha monitorando a tensão elétrica que flui através dele. No caso de a tensão subir acima de um determinado limite, conhecido como tensão de disparo, o dispositivo entra em ação. Para lidar com esse pico de tensão o DPS se ajusta para receber este pico por meio da mudança de seu estado de alta resistência para um estado de baixa resistência, o que garante um caminho alternativo de continuidade para a corrente elétrica proporcionada por este surto, encaminhando-a diretamente a terra. Com isso, o DPS evita o contato desta corrente elétrica perigosa aos equipamentos sensíveis do sistema elétrico, garantindo que os mesmos continuem a trabalhar com a devida tensão.

Deste modo, o DPS é geralmente recomendado para qualquer tipo de instalação que possua equipamentos eletrônicos de alta sensibilidade em sua composição, seja ela residencial, comercial, industrial, em sistemas de energia renovável, ou até em redes de telecomunicações. Em suma, um DPS deve ser considerado sempre que houver o risco de surtos de tensão causarem danos ao equipamento ou interrupção das operações dos mesmos. Em situações onde estes danos e interrupções dos equipamentos colocam em risco a vida humana, como é o caso de postos de combustíveis, sua implementação ao sistema elétrico do mesmo se faz ainda mais necessária.

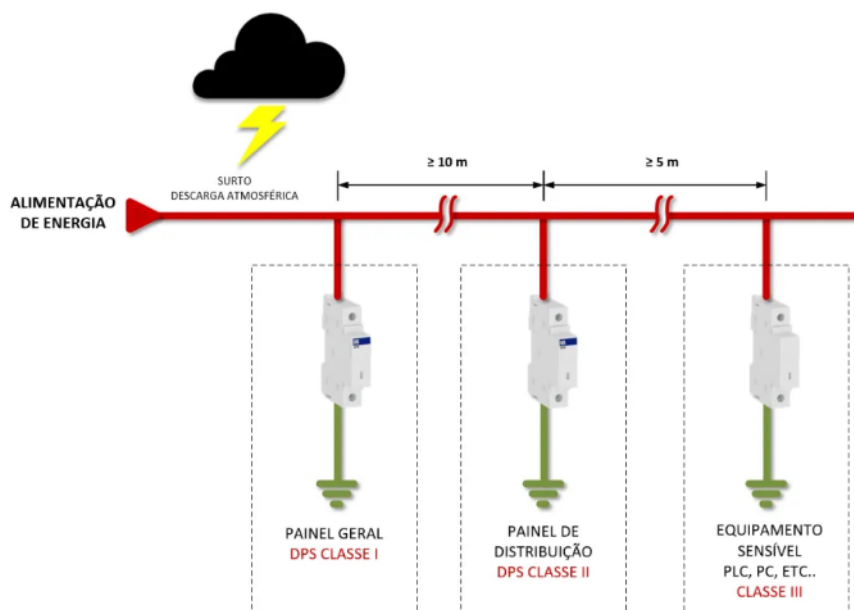
Os DPS são categorizados em classes com base em suas características de desempenho e no tipo de aplicação no qual estão sendo requisitados, categorizados em classes: I, II ou III, que identificam o teste ao qual o DPS foi submetido no que se refere a corrente de descarga.

Segundo a empresa FAM Engenharia e Projetos (2018), os DPS de classe I são geralmente utilizados no quadro principal, ou em ambientes em que possa ocorrer descargas diretas como aqueles em área urbanas ou rurais. Estes DPS levam de 10 a 350 micro segundos para levarem a corrente do surto até a terra. Os DPS de classe II limitam surtos que chegam a penetrar na edificação, propondo então uma utilização apenas para a proteção de equipamentos que possam vir a danificar ao receberem tensões superiores. Estes DPS levam de 8 a 20 micro segundos para atuarem e geralmente são instalados em quadros de distribuição internos ou quadros secundários. Os DPS de classe III limitam surtos que possam ocorrer em equipamentos mais sensíveis, destinado unicamente a um único equipamento eletroeletrônico. Estes DPS levam de 1,2 a 50 micro segundos para

atuarem, ou então de 8 a 20 micro segundos como aqueles de classe II.

Discutindo a relação entre o DPS e o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), sabe-se que embora o SPDA possa lidar com descargas atmosféricas diretas de um raio, ele por si só não garante a proteção dos equipamentos eletrônicos dentro da edificação contra surtos transitórios, aumentos rápidos e de curta duração da tensão de forma induzida nas linhas de dados e de energia. Desta forma, a função do DPS é complementar a proteção proporcionada pelos subsistema de captação, de descida e de aterramento, contra os efeitos indiretos de uma descarga atmosférica. Pelo fato de o DPS lidar com o redirecionamento de parte da corrente elétrica envolvida na descarga atmosférica para a terra, é de suma importância que o sistema dos DPS estejam sólidos, consolidados e projetados da melhor forma possível em conjunto com o subsistema de aterramento do SPDA externo para sua correta atuação e desempenho. Na Figura 79 é possível visualizar as diferentes classes de DPS:

Figura 79 – Classes de DPS



Fonte: (LIBERTY ENERGIA, 2022)

APÊNDICE B - ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

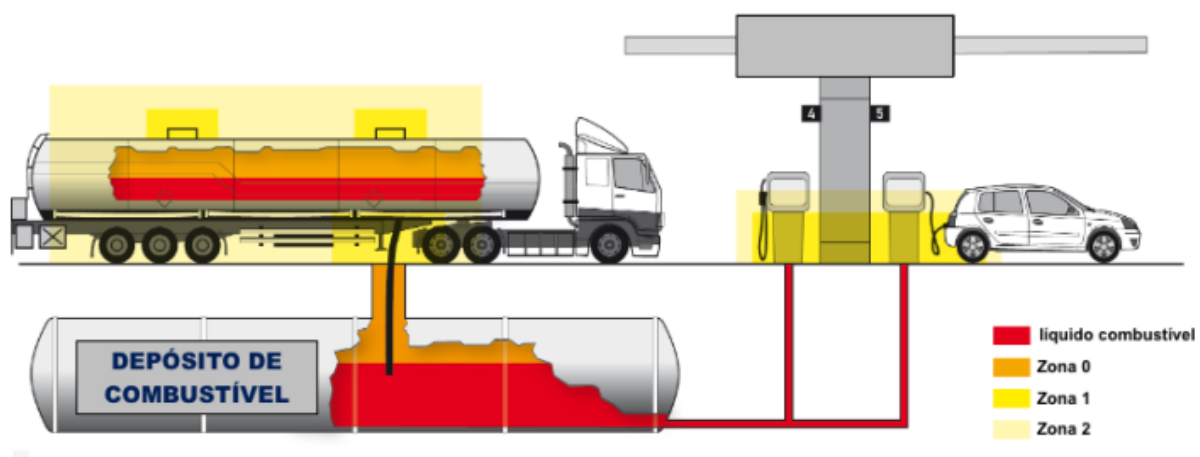
Segundo Moita (2019), uma atmosfera explosiva é uma mistura de substâncias inflamáveis sob a forma de gases, vapores, névoas ou poeiras com o ar, em condições atmosféricas (101,3 kPa e 20 °C), na qual após uma ignição, tem sua combustão se propagando a toda a mistura não queimada. Dentre os exemplos mais comuns do cotidiano está as bombas dos postos de distribuição de combustíveis.

Desta forma, a categorização de zonas explosivas nestas áreas e recintos possui três grandes funções:

- Especificar as categorias de materiais utilizadas nas zonas indicadas;
- Certificar que estas zonas estão adaptadas a gases, vapores ou névoas e/ou poeiras;
- Classificar os espaços de risco em zonas com a finalidade de evitar as fontes de inflamação, efetuando uma seleção dos materiais que podem ser elétricos ou não-elétricos.

Sendo assim, as áreas perigosas são classificadas, tanto em função da frequência, quanto da duração da presença de atmosferas explosivas nas zonas de categoria 1, 2 ou 3. A categoria 1 se encaixa em áreas de formação recorrente de atmosferas explosivas constituídas por uma mistura de ar com substâncias inflamáveis sob a forma de gás, vapor ou névoa (Zona 0), ou em uma nuvem de poeira combustível (Zona 20), se fazem presente permanentemente ou por longos períodos (mais de 1000 horas por ano). A categoria 2 se enquadra em áreas onde é provável, em condições normais de funcionamento, a formação de atmosferas explosivas constituídas por uma mistura de ar com substâncias inflamáveis sob a forma de gás, vapor ou névoa (Zona 1), ou em uma nuvem de poeira combustível (Zona 21), se fazem presente ocasionalmente, entre 10 a 1000 horas por ano. Já a categoria 3 é designada para áreas onde não é provável, em condições normais de funcionamento, a formação de atmosferas explosivas constituídas por uma mistura de ar com substâncias inflamáveis sob a forma de gás, vapor ou névoa (Zona 2), ou uma nuvem de poeiras combustível (Zona 22), ou onde, caso se verifique, essa formação seja de curtos períodos. Abaixo está representada a Figura 80 que exhibe visualmente um exemplo de como a formação de atmosferas explosivas podem ocorrer em uma translocação de combustível dentro de um posto de combustível:

Figura 80 – Classificação de zonas para uma operação de abastecimento de um posto de gasolina



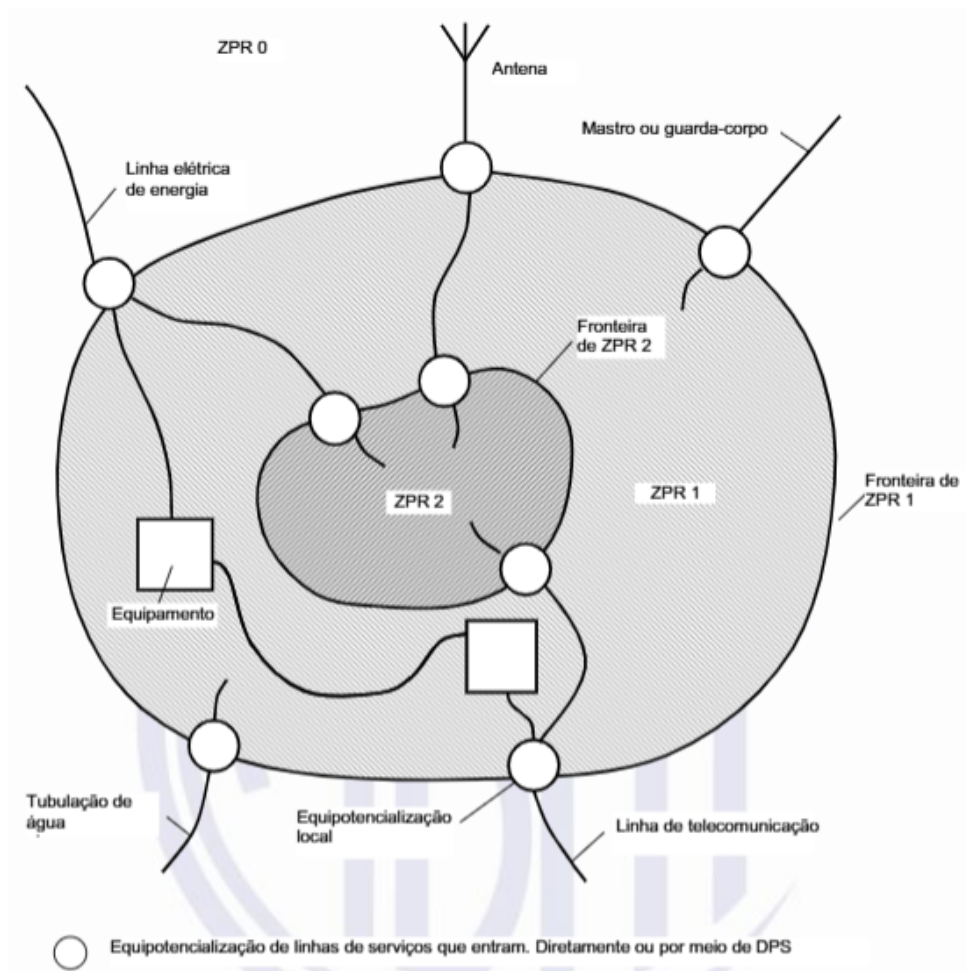
Fonte: (MOITA, 2019)

APÊNDICE C - BLINDAGEM E LAÇOS

Segundo a norma NBR 5419-4, além dos potenciais danos, riscos e perdas envolvendo diretamente as descargas atmosféricas já discutidos nos capítulos anteriores da mesma norma (NBR 5419-1 e NBR 5419-2), os sistemas elétricos e eletrônicos também podem estar sujeitos a outros tipos de danos, como é caso dos danos devido a impulsos eletromagnéticos causados por estas mesmas descargas atmosféricas (LEMP). Desta forma, a fim de evitar danos nos sistemas internos, também se faz necessária a adoção de medidas de proteção contra surtos (MPS).

Estas medidas se baseiam no conceito de zonas de proteção contra raios (ZPR), onde o volume contendo sistemas que devem ser protegidos deve ser dividido em ZPR, de modo a associar uma parte do espaço onde a severidade do LEMP é compatível com a suportabilidade dos sistemas internos existentes nessa mesma região, como mostra a Figura 81 abaixo:

Figura 81 – Princípios gerais de divisão de diferentes ZPR



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015d)

Nesse sentido, com relação à ameaça de uma descarga atmosférica, são definidas as seguintes ZPR:

1. Zonas externas:

- a) ZPR 0: onde a ameaça é devido a não atenuação do campo eletromagnético da descarga atmosférica, sujeitando os sistemas internos à correntes de surto totais ou parciais.
 - i. ZPR 0A: zona onde a ameaça é devido à descarga atmosférica direta e a totalidade do campo eletromagnético gerado por esta descarga (sistemas internos sujeitos a correntes de surto totais).
 - ii. ZPR 0B: zona protegida contra as descargas atmosféricas diretas, sendo a ameaça causada pela totalidade do campo eletromagnético (sistemas internos sujeitos a correntes de surto parcial).

2. Zonas internas (protegidas contra descargas atmosféricas diretas):

- a) ZPR 1: zona onde a corrente de surto é limitada pela distribuição das correntes e interfaces isolantes e/ou por DPS ou blindagem espacial instalados na fronteira das zonas.
- b) ZPR 2: zona onde a corrente de surto é pode ser ainda mais limitada pela distribuição de correntes e interfaces isolantes e/ou por DPS adicionais na fronteira entre as zonas mais internas.

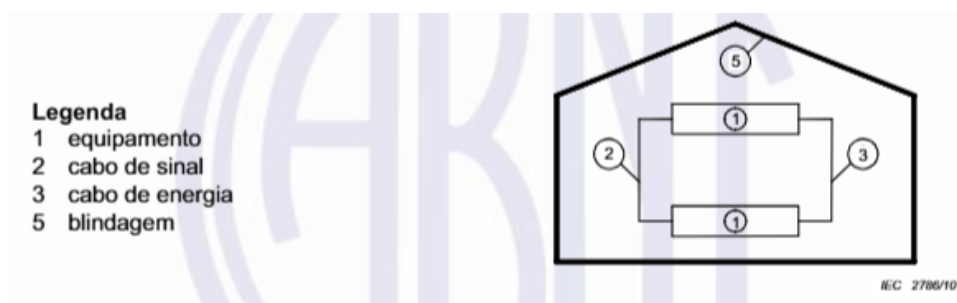
Através do Anexo A da norma NBR 5419-4, é definido que o campo eletromagnético criado no interior de uma ZPR por descargas atmosféricas diretas ou no solo próximo à estrutura pode ser reduzido pela blindagem espacial, do mesmo modo que surtos induzidos nos sistemas eletrônicos podem ser minimizados pela blindagem espacial, pelo roteamento das linhas, ou pela combinação de ambos os métodos. Portanto, surtos induzidos dentro dos sistemas internos podem ser reduzidos por meio de roteamento adequado das linhas, minimizando a área de loop de indução, ou utilizando-se cabos blindados ou dutos metálicos, minimizando os efeitos da indução interna, ou mesmo pela combinação de ambos discutida no início do parágrafo. Desta forma, algumas disposições possíveis para estes cenários estão exibidos segundo a Figura 82, a Figura 83, a Figura 84 e a Figura 85:

Figura 82 – Sistema desprotegido



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015d)

Figura 83 – Redução do campo eletromagnético no interior de uma ZPR por meio de sua blindagem



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015d)

Figura 84 – Redução da influência do campo eletromagnético nas linhas por meio de blindagem



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015d)

Figura 85 – Redução da área do laço de indução por um roteamento adequado das linhas



Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015d)