

Gerenciamento de Riscos - Memorial de Cálculo

O presente documento tem por finalidade descrever o Gerenciamento de Risco de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), elaborado de acordo com a norma NBR 5419/2015 com revisão em 2018.

Dados do Cliente:

Obra/Cliente: ESCOLA ESTADUAL DE SAÚDE PÚBLICA
Ano de Construção: 0
Cidade/Estado: GOIÁS
Endereço: R. 26 N° 521, JARDIM SANTO ANTÔNIO,
GOIÂNIA
CNPJ/CPF: 02.529.964/0001-57
Atividade: ESCOLAR

Dados da Avaliação:

Nome da Análise: LUCAS MENDES LOUZA
Data da Análise: 30/08/2021
Resp. Técnico: ENG. LUCAS MENDES LOUZA
Credenciamento: 1016457723/DGO
Nome da Empresa: PETRUS ENGENHARIA
CNPJ/CPF: 0

1. Características da Estrutura:

Dados da Edificação:

Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
93,00	90,00	4,85

Tipo de Estudo da Estrutura:

Estudo com formato prismático simples - quadrado ou retângulo

A área de exposição equivalente (A_d) corresponde à área do plano da estrutura prolongada em todas as direções, de modo a levar em conta sua altura. Os limites da área de exposição equivalente estão afastados do perímetro da estrutura por uma distância correspondente à altura da estrutura no ponto considerado.

$$A_d = 14.360,38 \text{ m}^2$$

1.1) Influências Ambientais:

a) Localização da estrutura:

Estrutura cercada por objetos mais altos

$$CD = 0,25$$

b) Densidade e descargas atmosféricas para a terra (N_g) (1/km²/ano): 7,00

1.2) Medidas de Proteção da Estrutura:

a) Nível de Proteção do SPDA (NP):

Estrutura não protegida por SPDA

$$Pb = 1$$

b) Número de Pessoas em Toda Edificação:

300 pessoas

1.3) Atributos da Linha de ENERGIA Conectada:

1.3.1) Estrutura Principal:

a) Possui linha de energia entrando na edificação?

NÃO - sem linha de Potência ou sinal conectada à estrutura

b) Como a linha de energia adentra a edificação [Fator CI]:

Enterrado

$$CI/p = 0$$

c) Comprimento da linha em metros:

$$LL/p = 1.000,00$$

d) Fator tipo da linha:

Linha de energia BT ou sinal

$$CT/p = 0,00$$

e) Fator Ambiental:

Urbano

$$CE = 0$$

f) Blindagem da linha:

Blindada e interligada ao mesmo barramento - $1\Omega/\text{km} < RS \leq 5\Omega/\text{km}$

$$RS/p = 1\Omega/\text{km} < RS \leq 5\Omega/\text{km}$$

g) Condições de Blindagem, aterramento, isolamento:

Linha enterrada blindada (energia ou sinal) # Blindagem NÃO interligada

$$CLD/p = 0,0$$

$$CLI/p = 0$$

1.3.2) Estrutura Adjacente:

a) Possui estrutura adjacente?

Contem Estrutura Adjacente a Linha

b) Dimensões da estrutura Adjacente:

Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
80,00	1,00	11,00

c) Fator de localização da estrutura adjacente:

Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos

$$CDJ/p = 0,00$$

d) Tensão suportável do sistema interno (kV):

Tensão suportável UW - 1,5 kV

$$UW/p = 1,50$$

e) Tipo de Linha da estrutura Adjacente:

Linhas de energia

$$PLI/p = 0,00$$

Parâmetros resultantes

$$KS4/p = 0,67$$

Este valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportável

$$PLD/p = 0,00$$

1.4) Atributos da Linha de SINAL Conectada:

1.4.1) Estrutura Principal:

a) Possui linha de energia entrando na edificação?

SIM - Tem esta linha de Potência ou sinal conectada à estrutura

b) Como a linha de energia adentra a edificação [Fator CI]:

Enterrado

$$CI/t = 0,5$$

c) Comprimento da linha em metros:

$$LL/t = 70,00$$

d) Fator tipo da linha:

Linha de energia em AT (com transformador AT/BT)

$$CT/t = 0,20$$

e) Fator Ambiental:

Urbano

$$CE = 0,1$$

f) Blindagem da linha:

Blindada e interligada ao mesmo barramento - $5\Omega/\text{km} < RS \leq 20 \Omega/\text{km}$

$$RS/t = 5\Omega/\text{km} < RS \leq 20 \Omega/\text{km}$$

g) Condições de Blindagem, aterramento, isolamento:

Linha enterrada blindada (energia ou sinal) # Blindagem INTERLIGADA

$$CLD/t = 1,0$$

$$CLI/t = 0,0$$

1.3.2) Estrutura Adjacente:

a) Possui estrutura adjacente?

Contem Estrutura Adjacente a Linha

b) Dimensões da estrutura Adjacente:

Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
270,00	206,00	4,80

c) Fator de localização da estrutura adjacente:

Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos

$$CDJ/t = 0,50$$

d) Tensão suportável do sistema interno (kV):

Tensão suportável UW - 1,5 kV

$$UW/t = 1,50$$

e) Tipo de Linha da estrutura Adjacente:

Linhas de sinais

$$PLI/t = 0,00$$

Parâmetros resultantes

$$KS4/t = 0,00$$

Este valor muda em função da Blindagem da Linha e Tensão suportável

$$PLD/t = 0,00$$

1.5) Áreas de exposição equivalente da estrutura e linhas na Edificação:

Estrutura:	
Equação	Resultado (m²)
$AD = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$	14.360,38
$AM = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$	968.398,16

Linha de Energia:	
Equação	Resultado (m²)
$AL/P = 40 \times LL$	40.000,00
$AL/P = 4\,000 \times LL$	4.000.000,00
$AD = LJ/p \times WJ/p + 2 \times (3 \times HJ/p) \times (LJ/p + WJ/p) + \pi \times (3 \times HJ/p)^2$	8.847,19

Linha de Sinal:	
Equação	Resultado (m²)
$AL/T = 40 \times LL$	2.800,00
$AL/T = 4\,000 \times LL$	280.000,00
$AD = LJ/t \times WJ/t + 2 \times (3 \times HJ/t) \times (LJ/t + WJ/t) + \pi \times (3 \times HJ/t)^2$	69.980,24

1.6) Número esperado anual de eventos perigosos na Edificação

Estrutura:	
Equação	Resultado 1/ ano
$ND = NG \times AD \times CD \times 10^{-6}$	2,51E-02
$NM = NG \times AM \times 10^{-6}$	6,78E+00

Linha de Energia:	
Equação	Resultado 1/ ano
$NL/P = NG \times AL/P \times CI/P \times CE/P \times CT/P \times 10^{-6}$	0,00E+00
$NI/P = NG \times AI/P \times CI/P \times CE/P \times CT/P \times 10^{-6}$	0,00E+00
$NDJ/P = NG \times ADJ/P \times CDJ/P \times CT/P \times 10^{-6}$	0,00E+00

Linha de Sinal:	
Equação	Resultado 1/ ano
$NL/T = NG \times AL/T \times CI/T \times CE/T \times CT/T \times 10^{-6}$	1,96E-04
$NI/T = NG \times AI/T \times CI/T \times CE/T \times CT/T \times 10^{-6}$	1,96E-02
$NDJ/T = NG \times ADJ/T \times CDJ/T \times CT/T \times 10^{-6}$	4,90E-02

2. Resumo das Proteções

2.1 - Características das Zonas

As medidas de proteção como SPDA, condutores de blindagem, blindagens magnéticas e DPS determinam as zonas de proteção contra descargas atmosféricas “raio” (ZPR).

Como regra geral de proteção, a estrutura a ser protegida deve estar em uma ZPR cujas características eletromagnéticas sejam compatíveis com sua capacidade de suportar solicitações que, de outra forma, causariam danos (dano físico ou falha de sistemas elétricos e eletrônicos devido a sobretensões).

a) Quantas Zonas estão sendo utilizadas:

1 zonas estão sendo avaliadas nesse Gerenciamento de Risco

As zonas foram especificadas e escolhidas para determinar a melhor solução em "custo-benefício", buscando escolher as Medidas de Proteção adequadas para cada necessidade.

b) Quais zonas estão sendo avaliadas?

Abaixo estão as zonas que foram escolhidas de acordo com análise técnica do local.

Descrição das Zonas Avaliadas:

Nº da Zona	Nº Pessoas na Zona	Nome da Zona	Está sendo utilizada?
Zona 01	300	DLA ESTADUAL DE SAUDE PUB	SIM
Zona 02	0	Zona não avaliada	NÃO
Zona 03	0	Zona não avaliada	NÃO
Zona 04	0	Zona não avaliada	NÃO
Zona 05	0	Zona não avaliada	NÃO
Zona 06	0	Zona não avaliada	NÃO

2.2 - Análises das Componentes de Riscos

2.2.1 - Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura

a) RA: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L1 e, no caso de estruturas contendo animais vivos, as perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também aumentar;

b) RB: componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar;

c) RC: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

2.2.2 - Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura

a) RM: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

2.2.3 - Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura

a) RU: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo L1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também ocorrer;

b) RV: componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos 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. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem ocorrer;

c) RW: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

2.2.4 - Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura

a) RZ: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

2.3 - Composição dos componentes de risco

Os componentes de risco a serem considerados para cada tipo de perda na estrutura são listados a seguir:

a) R1: Risco de perda de vida humana:

$$R1 = RA1 + RB1 + RC1 + RM1 + RU1 + RV1 + RW1 + RZ1$$

b) R2: Risco de perdas de serviço ao público:

$$R2 = RB2 + RC2 + RM2 + RV2 + RW2 + RZ2$$

c) R3: Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R3 = RB3 + RV3$$

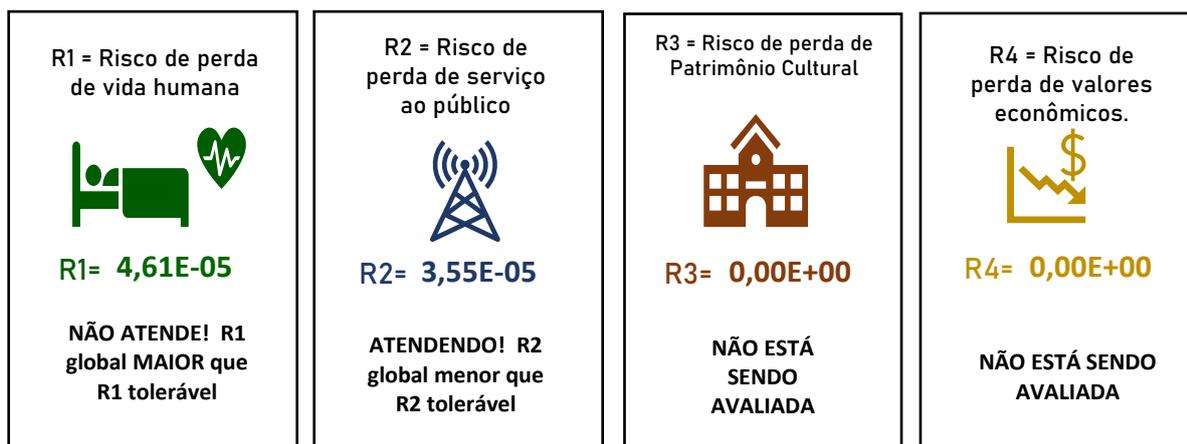
d) R4: Risco de perdas de valor econômico:

$$R4 = RA4 + RB4 + RC4 + RM4 + RU4 + RV4 + RW4 + RZ4$$

2.4 - Resultado das Componentes de Risco

Abaixo é apresentado o resumo do Resultado Global dos Riscos de Perdas Avaliados nesse Gerenciamento de Risco:

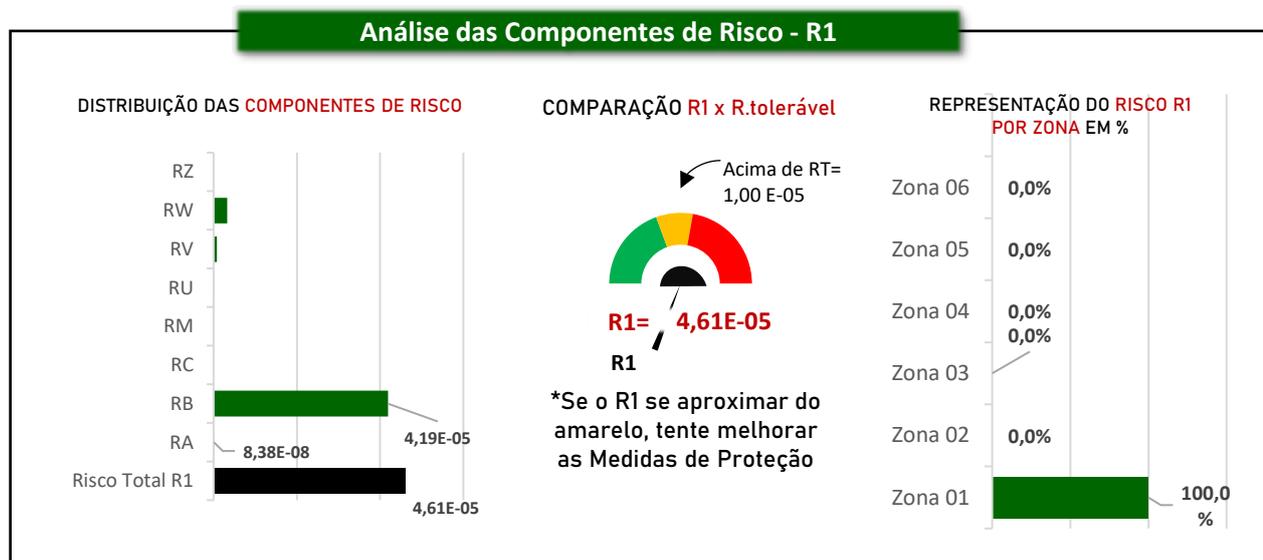
RESULTADO GLOBAL FINAL



a) R1: Risco de perda de Vida Humana:

$$R1 = RA1 + RB1 + RC1 + RM1 + RU1 + RV1 + RW1 + RZ1$$

Abaixo segue a análise das Componentes de Riscos para R1 Total, e a representação em % das zonas especificadas:



Segue os valores Globais das Componentes de Risco relacionadas a Perda de Vida Humano:

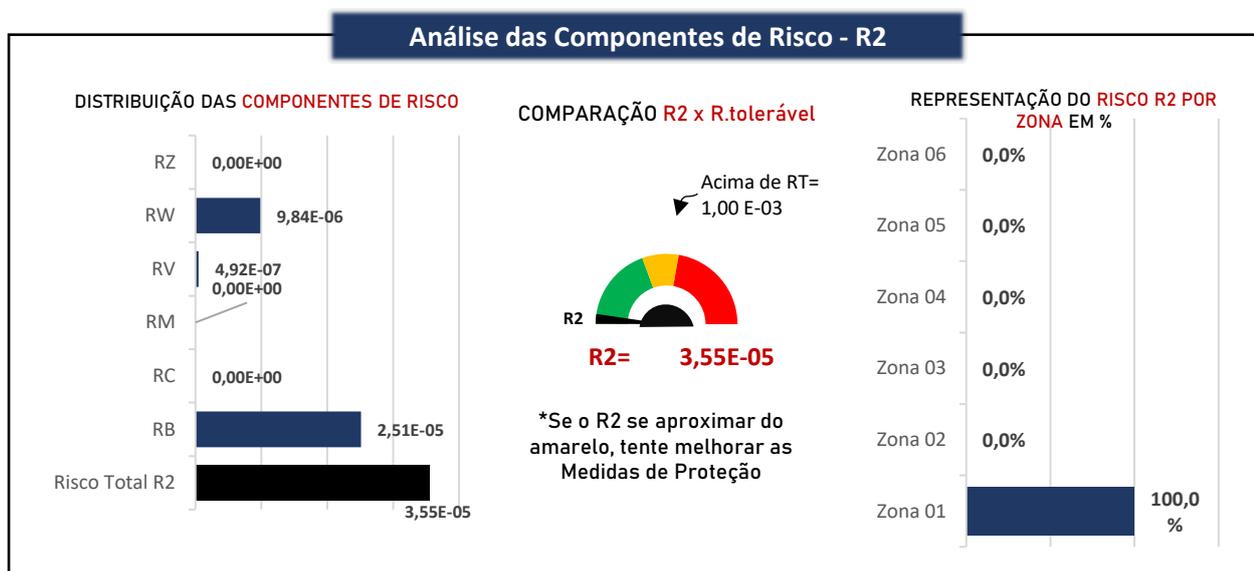
R1 - Valores Somados das Zonas Avaliadas		
S1- Estruturas	RA	8,38E-08
	RB	4,19E-05

	RC	0,00E+00
S2 -Perto da Estrutura	RM	0,00E+00
S3 - Na Linha	RU	1,64E-10
	RV	8,20E-07
	RW	3,28E-06
S4 -Perto da Linha	RZ	0,00E+00
R1 total:	R1t	4,61E-05

b) R2: Risco de perdas de serviço ao público:

$$R2 = RB2 + RC2 + RM2 + RV2 + RW2 + RZ2$$

Abaixo segue a análise das Componentes de Riscos para R2 Total, e a representação em % das zonas especificadas:



Segue os valores Globais das Componentes de Risco relacionadas a Perda de Serviço Público:

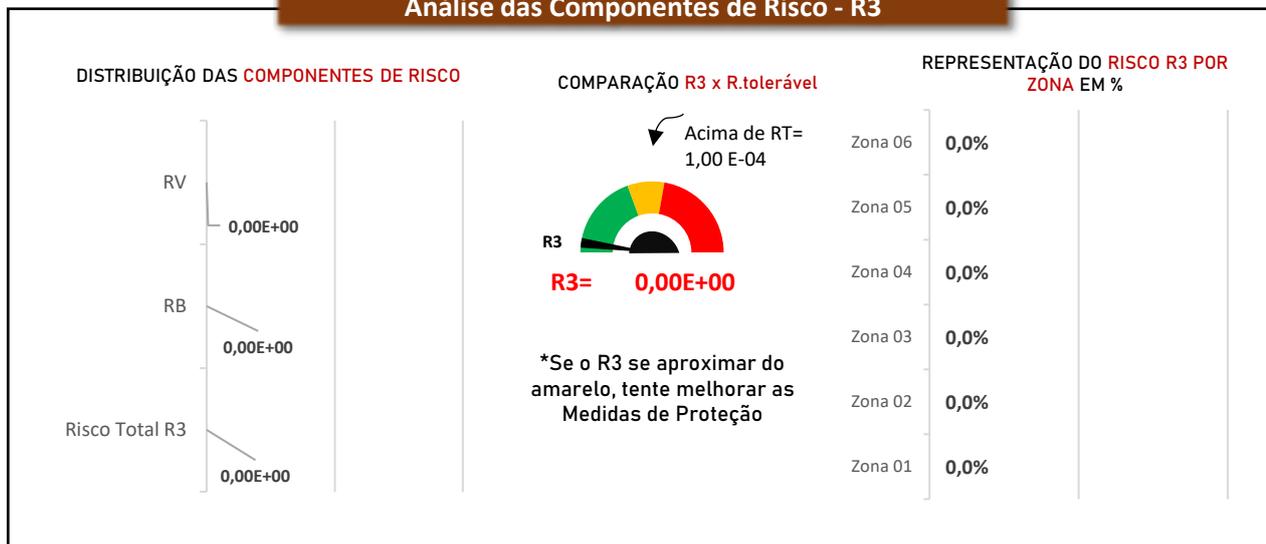
R2 - Valores Somados das Zonas Avaliadas		
S1 -Estrutura	RB	2,51E-05
	RC	0,00E+00
S2 - Perto da Estrutura	RM	0,00E+00
S3 -Na Linha	RV	4,92E-07
	RW	9,84E-06
S4 -Perto da Linha	RZ	0,00E+00
R2 total:	R2t	3,55E-05

c) R3: Risco de perdas de patrimônio cultural:

$$R3 = RB3 + RV3$$

Abaixo segue a análise das Componentes de Riscos para R3 Total, e a representação em % das zonas especificadas:

Análise das Componentes de Risco - R3



Segue os valores Globais das Componentes de Risco relacionadas a Perda de Patrimônio Cultural:

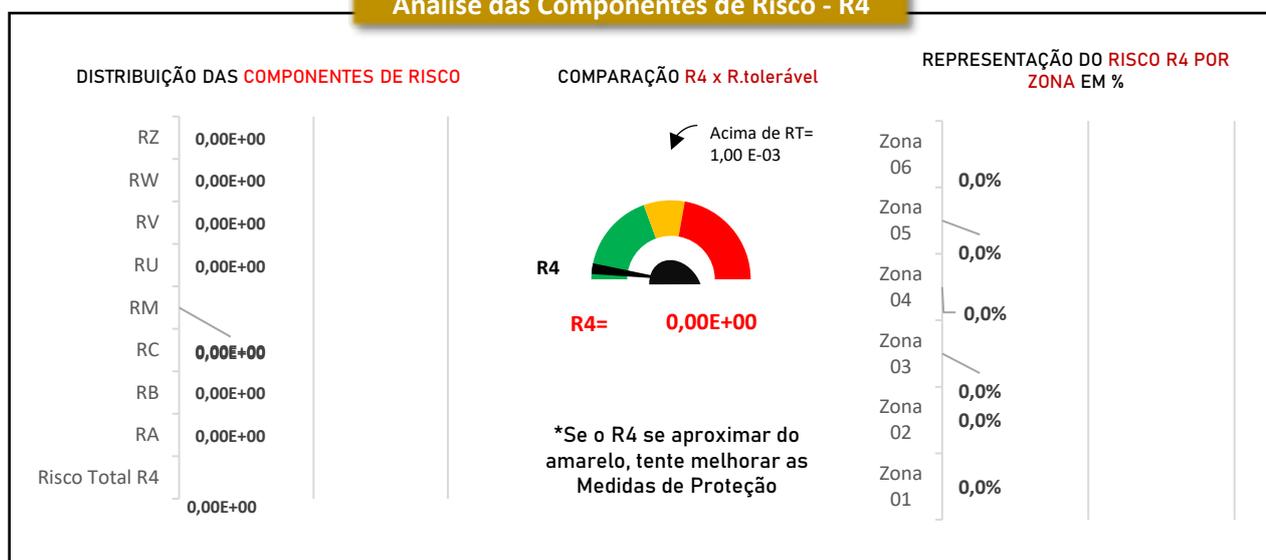
R3 - Valores Somados das Zonas Avaliadas		
S1 -Estrutura	RB	0,00E+00
S3 - Na linha	RV	0,00E+00
R3 total:	R3t	0,00E+00

d) R4: Risco de perdas de valor econômico:

$$R4 = RA4 + RB4 + RC4 + RM4 + RU4 + RV4 + RW4 + RZ4$$

Abaixo segue a análise das Componentes de Riscos para R4 Total, e a representação em % das zonas especificadas:

Análise das Componentes de Risco - R4



Segue os valores Globais das Componentes de Risco relacionadas a Perda de Valor Econômico

R4 - Valores Somados das Zonas Avaliadas		
S1- Estruturas	RA	0,00E+00
	RB	0,00E+00
	RC	0,00E+00
S2 -Perto da Estrutura	RM	0,00E+00
S3 - Na Linha	RU	0,00E+00
	RV	0,00E+00
	RW	0,00E+00
S4 -Perto da Linha	RZ	0,00E+00
R4 total:	R4t	0,00E+00

3. Resumo das Zonas

3.1 - ZONA 01 : ESCOLA ESTADUAL DE SAUDE PUBLICA

a) Abaixo está apresentado o resumo das características da Zona 01:

Condições da zona	
ZONA está sendo Avaliada?	SIM
Este projeto contém Risco de Explosão?	NÃO
Existe atendimento ao público?	SIM
Pode haver perda de patrimonio cultural?	NÃO
Este projeto contém Animais?	SIM
Hávera avaliação econômica?	NÃO

b) Abaixo consta o resumo das Medidas Protetivas na Zona 01, segundo essa análise de Risco:

Medidas Protetivas	
Blindagem Espacial Externa	Blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1 mm
Proteção contra choque (descarga atm. na estrutura)	Nenhuma medida de proteção
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)	Avisos visíveis de alerta
Proteção contra incêndio	Nenhuma providência
Fiação interna	
Energia (LINHA 01)	Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos (d)
Sinal (LINHA 02)	Cabos blindados e cabos instalados em eletrodutos metálicos (d)
Sistema de DPS	
Tipo de DPS	DPS - I
Tipo Coordenação de DPS	Sistema de DPS coordenado - II

C) Abaixo consta o resumo das Componentes de Risco R1 na Zona 01, segundo essa análise de Risco:

R1 - Valores Somados das Zonas Avaliadas		
S1- Estruturas	RA	8,38E-08
	RB	4,19E-05
	RC	0,00E+00
S2 -Perto da Estrutura	RM	0,00E+00
S3 - Na Linha	RU	1,64E-10
	RV	8,20E-07
	RW	3,28E-06
S4 -Perto da Linha	RZ	0,00E+00
R1 total:	R1t	4,61E-05

d) Abaixo consta o resumo das Componentes de Risco R2 na Zona 01, segundo essa análise de Risco:

R2 - Valores Somados das Zonas Avaliadas		
S1 -Estrutura	RB	2,51E-05
	RC	0,00E+00
S2 - Perto da Estrutura	RM	0,00E+00
S3 -Na Linha	RV	4,92E-07
	RW	9,84E-06
S4 -Perto da Linha	RZ	0,00E+00
R2 total:	R2t	3,55E-05

e) Abaixo consta o resumo das Componentes de Risco R3 na Zona 01, segundo essa análise de Risco:

R3 - Valores Somados das Zonas Avaliadas		
S1 -Estrutura	RB	0,00E+00
S3 - Na linha	RV	0,00E+00
R3 total:	R3t	0,00E+00

f) Abaixo consta o resumo das Componentes de Risco R4 na Zona 01, segundo essa análise de Risco:

R4 - Valores Somados das Zonas Avaliadas		
S1- Estruturas	RA	0,00E+00
	RB	0,00E+00
	RC	0,00E+00
S2 -Perto da Estrutura	RM	0,00E+00
S3 - Na Linha	RU	0,00E+00
	RV	0,00E+00
	RW	0,00E+00
S4 -Perto da Linha	RZ	0,00E+00

CÁLCULO DA MALHA DE ATERRAMENTO

Local: SE 13,8kV

Resistividade aparente do solo	ρ_a	$\Omega \cdot m$	440,00
Resistividade da camada superior do solo	ρ_1	$\Omega \cdot m$	491,00
Resistividade do material de acabamento da superfície da área da malha de terra	ρ_s	$\Omega \cdot m$	3.000,00
Corrente máxima de curto circuito fase-terra	I_{cft}	A	19.200,00
Corrente mínima de curto circuito fase-terra	I_{cftmin}	A	1.600,00
Tempo de duração da corrente de curto circuito fase-terra	T_f	seg	0,50
Fator da seção mínima do condutor	$k_c (T_f=1,0\text{seg e solda exotérmica})$	mm^2/A	0,002533
Seção mínima do condutor	$S_c = k_c \cdot I_{cft}$	mm^2	48,63
Seção do condutor escolhida	Indicado utilizar (50 mm^2 para edificações comuns, 70 mm^2 para subestações , 95 mm^2 para subestações e datacenters)	mm^2	50,00
Comprimento da malha de terra	C_m	m	806,00
Distância entre os cabos correspondentes à largura da malha de terra	D_l	m	95,00
Número de condutores principais	$N_{cp} = (C_m/D_l) + 1$	unid	9,48
Largura da malha de terra	L_m	m	83,00
Distância entre os cabos correspondentes ao comprimento da malha de terra	D_c	m	10,00
Número de condutores de junção	$N_{cj} = (L_m/D_c) + 1$	unid	9,30
Comprimento do condutor	$L_{cm} = 1,05[(C_m \cdot N_{cj}) + (L_m \cdot N_{cp})]$	m	8.697,14

Coeficientes para ajustes:

Coeficiente de malha (condutores principais)	$K_{mp} = (1/2\pi) \ln[D_l^2 / (4\pi(N_{cp}-1)H \cdot D_{ca})]$		1,5799
Coeficiente de malha (condutores de junção)	$K_{mj} = (1/2\pi) \ln[D_c^2 / (4\pi(N_{cj}-1)H \cdot D_{ca})]$		0,8668
Profundidade da malha	H (A norma NBR 5419:2015 exige profundidade mínima de 0,50 m)	m	0,50
Diâmetro do condutor	D_{ca}	m	0,00827
Coeficiente de superfície dos condutores principais	$K_{sp} = (1/\pi) \{ (1/2H) + (1/(D_l + H)) + ((\ln[0,655(N_{cp}-1) - 0,328]) / D_l^2) \}$		0,32170
Coeficiente de superfície dos condutores de junção	$K_{sj} = (1/\pi) \{ (1/2H) + (1/(D_c + H)) + ((\ln[0,655(N_{cj}-1) - 0,328]) / D_c^2) \}$		0,35382
Coeficiente de irregularidade dos condutores principais	$K_{ip} = 0,65 + 0,172N_{cp}$		2,281
Coeficiente de irregularidade dos condutores de junção	$K_{ij} = 0,65 + 0,172N_{cj}$		2,250
Comprimento mínimo do condutor da malha	$L_c = (K_m \cdot K_i \cdot \rho_a \cdot I_{cft} \cdot (T_f)^{1/2}) / (0,116 + 0,174\rho_s)$	m	3.436,36

Condição satisfeita? $L_{cm} \geq L_c$ **SIM**

Tensão de passo	$E_{pa} = (116 + 0,7\rho_s) / (T_f)^{1/2}$	V	3.133,90
Tensão de passo na periferia da malha	$E_{per} = K_s \cdot K_i \cdot \rho_1 \cdot I_{cftmin} / L_{cm}$	V	72,91

Condição satisfeita? $E_{pa} \geq E_{per}$ **SIM**

Tensão máxima de toque	$E_{tm} = (116 + 0,174\rho_s) / (T_f)^{1/2}$	V	902,27
Tensão de toque existente	$E_{te} = K_m \cdot K_i \cdot \rho_1 \cdot I_{cftmin} / L_{cm}$	V	325,56

Condição satisfeita? $E_{tm} \geq E_{te}$ **SIM**

Corrente máxima de choque	$I_{ch} = 116 / (T_f)^{1/2}$	mA	164,05
Corrente de choque existente devido à tensão de passo sem brita na periferia da malha	$I_{pmsb} = 1000E_{per} / (1000 + 6\rho_1)$	mA	18,48

Condição satisfeita? $I_{pmsb} \leq I_{ch}$ **SIM**

Corrente de choque existente na periferia da malha devido à tensão de passo, com a camada de brita	$I_{pmcb} = 1000E_{per} / (1000 + 6(\rho_1 + \rho_s))$	mA	3,32
--	--	----	------

Condição satisfeita? $I_{pmcb} \leq I_{ch}$ **SIM**

Corrente de choque devido a tensão de toque existente, sem brita	$I_{tmsb} = 1000E_{te} / (1000 + 1,5\rho_1)$	mA	187,48
--	--	----	--------

Condição satisfeita? $I_{tmsb} \leq I_{ch}$ **NÃO**

CÁLCULO DA MALHA DE ATERRAMENTO

Local: SE 13,8kV

Nota: Devido a condição não satisfeita é obrigatória a utilização de brita.

Corrente de choque devido a tensão de toque existente, com brita	$I_{tmcb} = 1000E_{te} / (1000 + 1,5(\rho_1 + \rho_s))$	mA	52,20
Condição satisfeita?	$I_{tmcb} \leq I_{ch}$		SIM
Corrente mínima de acionamento do relé de terra	$I_a = (R_{ch} + 1,5\rho_s)9L_{cm} / 1000K_m K_i \rho_1$	A	243,27
Resistência do corpo humano	R_{ch}	Ω	1.000,00
Resistência da malha de terra sem a influência dos eletrodos verticais	$R_{mc} = (\rho_a / (4R)) + (\rho_a / L_{cm})$	Ω	0,80
Área da malha de terra	$S_{malha} = C_m \cdot L_m$	m ²	66.898,00
Raio do círculo equivalente à área da malha de terra	$R = (S_{malha} / \pi)^{1/2}$	m	145,93
Cálculo da resistência da malha de terra com a influência dos eletrodos verticais:			
Resistência de aterramento de um eletrodo vertical	$R_{ei} = (\rho_a / (2\pi L_h)) \ln((400L_h) / (2,54D_h))$	Ω	150,46
Comprimento da haste de terra	L_h	m	3,00
Diâmetro equivalente da haste de terra	D_h	polegada	0,750
Coefficiente de redução da resistência de um eletrodo vertical	$K_h = (1 + A \cdot B) / N_h$		0,0091
Número de hastes de terra (máximo)	$N_h = N_{cp} \cdot N_{cj}$	unid	88,20
Número de hastes de terra (projetado)	$N_h = N_{cp} \cdot N_{cj}$	unid	110
Distância média entre as hastes	Distância encontrada conforme esboço de Projeto	m	11,00
Coefficiente A	Para haste de 3/4" comprimento 3m		0,0453
Coefficiente B	Para N_h hastes		0,0000
Resistência de aterramento do conjunto de eletrodos verticais	$R_{ne} = K_h \cdot R_{ei}$	Ω	1,37
Resistência mútua dos cabos e eletrodos verticais	$R_{mu} = (\rho_a / \pi L_{cm}) [\ln(2L_{cm} / L_{th}) + (K_1 L_{cm} / S_{malha}^{1/2}) - K_2 + 1]$	Ω	0,41
Comprimento total das hastes utilizadas	$L_{th} = L_h \cdot N_h$	m	330,00
Constante K	$K = C_m / L_m$		9,711
Constante K_1	$K_1 = 1,14125 - 0,0425K$		0,729
Constante K_2	$K_2 = 5,49 - 0,1443K$		4,089
Resistência total da malha	$R_{tm} = (R_{mc} \cdot R_{ne} - R_{mu}^2) / (R_{mc} + R_{ne} - 2R_{mu})$	Ω	0,69
Condição satisfeita?	$R_{tm} \leq 10 \Omega$		SIM