

RELATÓRIO DE ANÁLISE DE RISCO – SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

US VILA DO RIACHO

ARACRUZ - ES

DEZEMBRO DE 2022

SUMÁRIO

1	OBJETIVO.....	2
2	CARACTERÍSTICAS E DADOS RELEVANTES.....	2
3	DEFINIÇÃO DAS ZONAS DA ESTRUTURA.....	5
4	CÁLCULO DAS QUANTIDADES RELEVANTES	7
5	PARÂMETROS RESULTANTES.....	8
6	CÁLCULO DO RISCO R1	9
7	CÁLCULO DO RISCO R4	9
8	CONCLUSÃO.....	11

1 OBJETIVO

O presente documento tem por finalidade avaliar o risco e, consequentemente, a necessidade de construção do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), conforme Parte 2 da norma NBR 5419/2015.

Perda de vida humana (L1) e perda econômica (L4) são relevantes para este tipo de estrutura e são requisitos para avaliação da necessidade de proteção. Isto implica a determinação do risco R1 para perda de vida humana (L1) e R4 para perda de valor econômico (L4); a partir de cada uma das componentes de risco, comparando-os com os níveis toleráveis (10^{-5} , para R1), assim como na análise do investimento em medidas de proteção a partir da determinação do risco R4 para perda de valor econômico (L4).

2 CARACTERÍSTICAS E DADOS RELEVANTES

A estrutura foi considerada cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos em sua vizinhança. A densidade de descargas atmosféricas para a terra, conforme apresentado na Figura 1 é $N_g = 1,7$ descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano. Os demais dados da edificação e sua vizinhança são dados na Tabela 1.



Figura 1 – Densidade de descargas atmosféricas para a terra (Ng)

Tabela 1 – Características da estrutura e do meio ambiente

Características da Estrutura e Meio Ambiente				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Densidade de descargas atmosféricas para a terra [$1/\text{km}^2 \times \text{ano}$]	http://www.inpe.br/webelat/ABNT_NBR5419_Ng/	N_G	1,7	
Dimensões da estrutura [m]		L, W, H	; ;	
Área equivalente (estrutura complexa) [m^2]		A_D	2.043,00	
Fator de localização da estrutura	Estrutura cercada por objetos de mesma altura ou mais baixos	C_D	0,5	Tabela A.1
SPDA	Estrutura não protegida por SPDA	P_B	1	Tabela B.2
Ligação equipotencial - Linha Energia	DPS projetado para o Nível III-IV	$P_{EB/P}$	0,05	Tabela B.7
Ligação equipotencial - Linha Sinal	Sem DPS	$P_{EB/T}$	1	Tabela B.7
Blindagem espacial externa	Nenhuma	K_{S1}	1	Equação (B.5)
Número total de pessoas		n_t	125	-
Valor total da estrutura (incluindo todas as zonas)		C_t	3.300.000,00	-

Por se tratar de estrutura complexa, a área de exposição equivalente (A_D), definida pela intersecção entre a superfície do solo com uma linha reta de inclinação 1 para 3 a qual passa pelas partes mais altas da estrutura (tocando-a nestes pontos) e rotacionando ao redor dela, foi definida graficamente e está representada pela área hachurada na Figura 2.

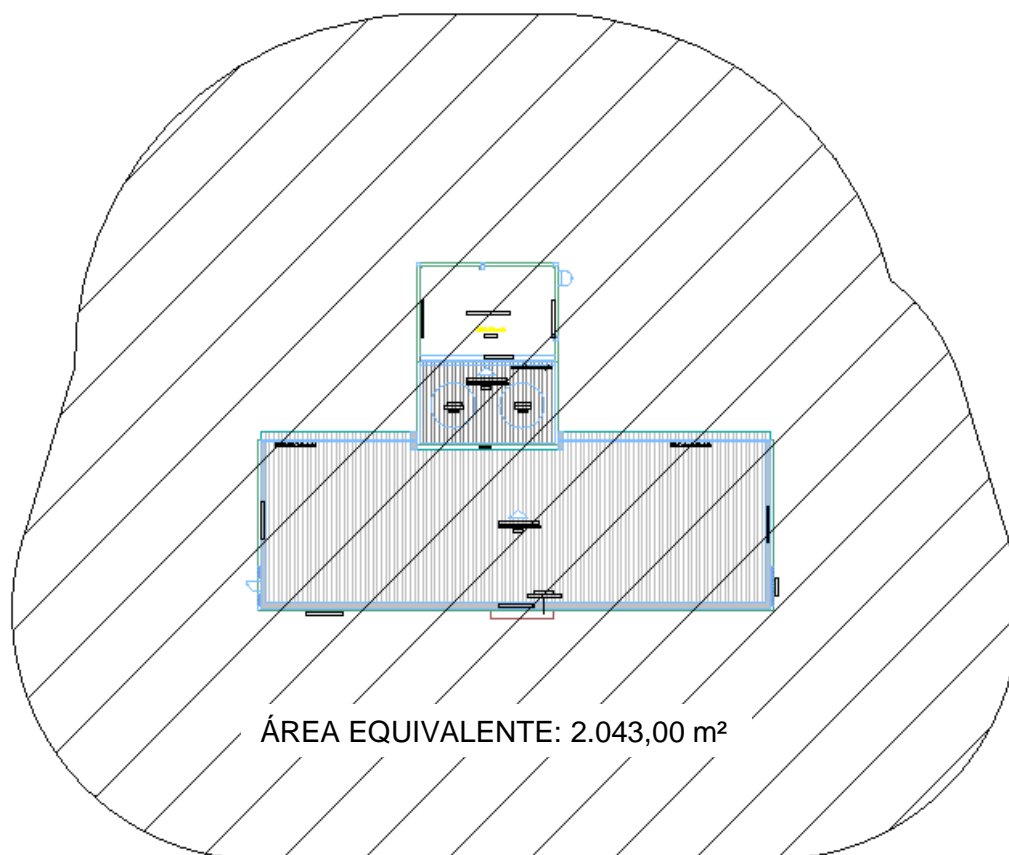


Figura 2 – Área de exposição equivalente (A_D)

Os dados das linhas que adentram a edificação e suas conexões com os sistemas internos são dados para linhas de energia na Tabela 2 e para linhas de sinais na Tabela 3.

Tabela 2 – Linha de energia

Linha de energia				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento [m]		L_L	1000	
Fator de instalação	Aérea	C_I	1	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia ou sinal	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Tipo de linha externa	Linha enterrada não blindada	C_{LD}	1	Tabela B.4
Conexão na entrada	Indefinida	C_{LI}	1	Tabela B.4
Blindagem da linha [Ω/km]	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	R_S		Tabela B.8
Estrutura adjacente		L_J, W_J, H_J	; ;	
Fator de localização da estrutura adjacente		C_{DJ}		Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno [kV]		U_W	2,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,40	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,3	Tabela B.9

Tabela 3 – Linha de sinal

Linha de sinal				
Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Comprimento [m]		L_L	1000	
Fator de instalação	Aérea	C_I	1	Tabela A.2
Fator tipo da linha	Linha de energia ou sinal	C_T	1	Tabela A.3
Fator ambiental	Suburbano	C_E	0,5	Tabela A.4
Tipo de linha externa	Linha aérea não blindada	C_{LD}	1	Tabela B.4
Conexão na entrada	Indefinida	C_{LI}	1	Tabela B.4
Blindagem da linha [Ω/km]	Linha aérea ou enterrada, não blindada ou com a blindagem não interligada ao mesmo barramento de equipotencialização do equipamento	R_S		Tabela B.8
Estrutura adjacente		L_J, W_J, H_J	, ,	
Fator de localização da estrutura adjacente		C_{DJ}		Tabela A.1
Tensão suportável do sistema interno [kV]		U_W	1,5	
	Parâmetros resultantes	K_{S4}	0,67	Equação (B.7)
		P_{LD}	1	Tabela B.8
		P_{LI}	0,5	Tabela B.9

Os comprimentos das linhas que adentram a edificação (energia e sinal) são definidos até o primeiro nó, partindo-se da estrutura. Apesar de, efetivamente, as linhas de energia e sinal que adentram a edificação serem enterradas e com comprimentos inferiores a 1000m, considerou-se, para fins de análise do risco, as linhas aéreas a partir das quais derivam as linhas que adentram a edificação. Cabe ressaltar que tal medida foi adotada como margem de segurança nos cálculos e, conforme será demonstrado a seguir, ainda assim a instalação de SPDA externo não se faz necessária.

3 DEFINIÇÃO DAS ZONAS DA ESTRUTURA

Para a estrutura analisada, as seguintes zonas são definidas:

Z1 (zona interna à edificação);

Z2 (zona externa à edificação).

Levando em conta que:

- o tipo de piso é diferente na área externa e dentro da estrutura, porém, considerou-se o tipo de piso mais crítico, para ambas as zonas;
- o risco de incêndio é distinto entre as zonas;
- há sistemas internos conectados à energia assim como às linhas de sinais;
- o número de pessoas é distinto entre as zonas.

As características resultantes das zonas Z1 e Z2 são dadas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4 – Fatores válidos para Zona Z1

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Agricultura, concreto	r_t	1,00E-02	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma medida de proteção	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma medida de proteção	P_{TU}	1	Tabela B.1
Risco de explosão		Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Risco de incêndio		Baixo	r_f	0,001	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Uma das seguintes providências: extintores, instalações fixas operadas manualmente, instalações de alarme manuais, hidrantes, compartimentos à prova de fogo, rotas de escape	r_p	0,5	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma		K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	DPS projetado para o Nível III-IV	P_{SPD}	0,05	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P_{SPD}	1	Tabela B.3
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Baixo nível de pânico	h_z	2	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L_T	0,01	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	Hospital, hotel, escola, edifício cívico	L_F	0,1	
	D3: devido a falhas de sistemas internos		L_O	0	
Número de pessoas na zona			n_z	120	-
Tempo da presença das pessoas na zona [hxano]			t_z	4380	-
L4: perda de valor econômico	D1: devido à tensão de toque e passo		L_T	0	Tabela C.12
	D2: devido a danos físicos	Hospital, industrial, museu, agricultura	L_F	0,5	
	D3: devido a falhas de sistemas internos	Hospital, industrial, escritório, hotel, comercial	L_O	0,01	

Tabela 5 – Fatores válidos para Zona Z2

Parâmetros de entrada		Comentário	Símbolo	Valor	Referência
Tipo de piso		Agricultura, concreto	r_t	1,00E-02	Tabela C.3
Proteção contra choque (descarga atmosférica na estrutura)		Nenhuma medida de proteção	P_{TA}	1	Tabela B.1
Proteção contra choque (descarga atmosférica na linha)		Nenhuma medida de proteção	P_{TU}	1	Tabela B.1
Risco de explosão		Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Risco de incêndio		Nenhum	r_f	0	Tabela C.5
Proteção contra incêndio		Nenhuma providência	r_p	1	Tabela C.4
Blindagem espacial interna	Nenhuma		K_{S2}	1	Equação (B.6)
Energia	Fiação interna	Cabo não blindado - sem preocupação no roteamento no sentido de evitar laços	K_{S3}	1	Tabela B.5
	DPS coordenados	Nenhum sistema de DPS coordenado	P_{SPD}	1	Tabela B.3
Telecom	Fiação interna		K_{S3}		Tabela B.5
	DPS coordenados		P_{SPD}		Tabela B.3
L1: perda de vida humana	Perigo especial:	Sem perigo especial	h_z	1	Tabela C.6
	D1: devido à tensão de toque e passo	Todos os tipos	L_T	0,01	Tabela C.2
	D2: devido a danos físicos	Outros	L_F	0,01	
	D3: devido a falhas de sistemas internos		L_O	0	
Número de pessoas na zona			n_z	5	-
Tempo da presença das pessoas na zona [hxano]			t_z	4380	-

4 CÁLCULO DAS QUANTIDADES RELEVANTES

Cálculos são dados na Tabela 6 para as áreas de exposição equivalentes e na Tabela 7 para o número anual de eventos perigosos esperados.

Tabela 6 – Áreas de exposição equivalentes da estrutura e das linhas

	Símbolo	Resultado [m²]	Referência	Equação
Estrutura	A_D	2,04E+03	Equação (A.2)	$A_D = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
	A_M	8,32E+05	Equação (A.7)	$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2$
Linha de energia	$A_{L/P}$	4,00E+04	Equação (A.9)	$A_{L/P} = 40 \times L_L$
	$A_{I/P}$	4,00E+06	Equação (A.11)	$A_{I/P} = 4000 \times L_L$
	$A_{DJ/P}$	0,00E+00	Equação (A.2)	$A_{DJ/P} = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$
Linha telecom	$A_{L/T}$	4,00E+04	Equação (A.9)	$A_{L/T} = 40 \times L_L$
	$A_{I/T}$	4,00E+06	Equação (A.11)	$A_{I/T} = 4000 \times L_L$
	$A_{DJ/T}$	0,00E+00	Equação (A.2)	$A_{DJ/T} = L \times W + 2 \times (3 \times H) \times (L + W) + \pi \times (3 \times H)^2$

Tabela 7 – Número anual de eventos perigosos esperados

	Símbolo	Resultado [m ²]	Referência	Equação
Estrutura	N_D	1,74E-03	Equação (A.4)	$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 1,00E-06$
	N_M	1,41E+00	Equação (A.6)	$N_M = N_G \times A_M \times 1,00E-06$
Linha de energia	$N_{L/P}$	3,40E-02	Equação (A.8)	$N_{L/P} = N_G \times A_{L/P} \times C_{L/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 1,00E-06$
	$N_{I/P}$	3,40E+00	Equação (A.10)	$N_{I/P} = N_G \times A_{I/P} \times C_{I/P} \times C_{E/P} \times C_{T/P} \times 1,00E-06$
	$N_{DJ/P}$	0,00E+00	Equação (A.5)	$N_{DJ/P} = N_G \times A_{DJ/P} \times C_{DJ/P} \times C_{T/P} \times 1,00E-06$
Linha telecom	$N_{L/T}$	3,40E-02	Equação (A.8)	$N_{L/T} = N_G \times A_{L/T} \times C_{L/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 1,00E-06$
	$N_{I/T}$	3,40E+00	Equação (A.10)	$N_{I/T} = N_G \times A_{I/T} \times C_{I/T} \times C_{E/T} \times C_{T/T} \times 1,00E-06$
	$N_{DJ/T}$	0,00E+00	Equação (A.5)	$N_{DJ/T} = N_G \times A_{DJ/T} \times C_{DJ/T} \times C_{T/T} \times 1,00E-06$

5 PARÂMETROS RESULTANTES

Os parâmetros resultantes que serão utilizados para cálculo dos riscos foram determinados a partir das características da edificação, linhas e entorno e estão apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 8 – Parâmetros resultantes para cálculo de R1 da Z1

Parâmetros resultantes	L_A	4,80E-05	Equação (C.1)
	L_U	4,80E-05	Equação (C.2)
	$L_B = L_V$	4,80E-05	Equação (C.3)
	$L_C = L_M = L_W = L_Z$	0,00E+00	Equação (C.4)

Tabela 9 – Parâmetros resultantes para cálculo de R4 da Z1

Parâmetros resultantes	L_A	0,00E+00	Equação (C.10)
	L_U	0,00E+00	Equação (C.11)
	$L_B = L_V$	2,50E-04	Equação (C.12)
	$L_C = L_M = L_W = L_Z$	2,42E-03	Equação (C.13)

Tabela 10 – Parâmetros Resultantes para cálculo de R1 da Z2

Parâmetros resultantes	L_A	2,00E-06	Equação (C.1)
	L_U	2,00E-06	Equação (C.2)
	$L_B = L_V$	0,00E+00	Equação (C.3)
	$L_C = L_M = L_W = L_Z$	0,00E+00	Equação (C.4)

6 CÁLCULO DO RISCO R1

A Tabela 11 a seguir apresenta o valor do risco total R1:

Tabela 11 – Risco R1 – sem medidas de proteção (valores x 10⁻⁵)

Tipo de Danos	Símbolo	Z1	Z2	Estrutura
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$	0,0083	0,0003	0,0087
	$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	0,3264	0,0136	0,3400
D2 Danos físicos	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$	0,0083	0,0000	0,0083
	$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	0,1714	0,0000	0,1714
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	0,0000	0,0000	0,0000
	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	0,0000	0,0000	0,0000
	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	0,0000	0,0000	0,0000
	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$	0,0000	0,0000	0,0000
Total		0,5144	0,0139	0,5284
Tolerável		R1 < RT: a estrutura está protegida para este tipo de perda		1,0000

Conforme apresentado, o risco R1 apresenta valor inferior ao limite estabelecido pela ABNT NBR 5419:2015, portanto, do ponto de vista de risco à vida humana, não se faz necessária a adoção de medidas adicionais de proteção contra descargas atmosféricas para redução do risco a níveis aceitáveis.

É importante destacar que a análise de risco efetuada já considerou a existência de medidas que contribuem para a redução do risco de perda de vida humana, como a instalação de extintores de incêndio, além da instalação de sistema coordenado de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) na linha de energia.

7 CÁLCULO DO RISCO R4

A Tabela 12 apresenta os valores da edificação, seu conteúdo e sistemas internos.

Tabela 12 – Valores envolvidos (R\$)

Valor dos animais na zona	c_a	
Valor da edificação relevante à zona	c_b	2.000.000,00
Valor do conteúdo da zona	c_c	500.000,00
Valor dos sistemas internos incluindo suas atividades na zona	c_s	800.000,00
Valor total da estrutura (incluindo todas as zonas)	c_t	3.300.000,00

A comparação entre as perdas anuais entre a edificação sem adoção de medidas adicionais de proteção contra descargas atmosféricas e aquelas residuais que poderão ocorrer após a implantação dessas está apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 – Cálculo dos custos das perdas

Proteção	Z1	Z2	Estrutura	Custo das Perdas [R\$]
Não protegida	5,8845	0,0000	5,8845	19.418,85
Protegida	5,8761	0,0000	5,8761	19.391,06

Considerou-se como medidas adicionais de proteção a instalação de sistema externo de proteção contra descargas atmosféricas Classe IV, além de instalação de DPS na linha de sinal.

Com base nos parâmetros financeiros apresentados na Tabela 14 e estimativa de custo das medidas de proteção apresentada na Tabela 15, calculou-se a economia anual decorrente da adoção das medidas, a qual está apresentada na Tabela 16.

Tabela 14 – Parâmetros financeiros

Taxa	Símbolo	Valor
Juros	i	10,00%
Amortização	a	5,00%
Manutenção	m	1,00%

Tabela 15 – Cálculo do custo anual das medidas de proteção

Medida de Proteção	Custo CP	Custo anual C_{PM} $= C_p (i + a + m)$
SPDA Classe IV e DPS na linha de sinal	15.000,00	2.400,00

Tabela 16 – Cálculo da economia anual

	Símbolo	Solução
Perdas para estrutura não protegida	C_L	19.418,85
Perda residual para estrutura protegida	C_{RL}	19.391,06
Custo anual da proteção	C_{PM}	2.400,00
Economia anual $S_M = C_L - (C_{RL} + C_{PM})$	S_M	-2.372,21

Conforme pode-se observar, com base na estimativa de custo das medidas adicionais de proteção (R\$ 15.000,00), a economia anual obtida com sua implementação é inferior a 0, assim, do ponto de vista financeiro, a adoção dessas não seria justificável.

8 CONCLUSÃO

Conforme apresentado neste memorial, somente a existência de extintores de incêndio e DPS na linha de energia já são suficientes para que o risco R1 (perda de vida humana) apresente valores toleráveis, conforme parâmetros da NBR 5419:2015, portanto, não se faz necessária a adoção de medidas adicionais de proteção contra descargas atmosféricas. É importante destacar ainda que, do ponto de vista financeiro a adoção de medidas adicionais de proteção apresenta retorno sobre o investimento negativo, não sendo, portanto, justificável sua implantação.

Arthur Depollo Ferreira
Engenheiro Eletricista
CREA ES 052884/D