

Avaliação de risco
E.M.E.F. Luíza Tavares Schmidt

O presente relatório tem o propósito de fornecer uma análise de riscos a uma estrutura devido às descargas atmosféricas para a terra, baseado em procedimentos da NBR 5419:2015.

Risco de perda de vida humana (R1)

Os resultados para risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes) levam em consideração os componentes de risco de descargas na estrutura e próximo desta, e descargas em uma linha conectada à estrutura e próximo desta.

Componente Ra (risco de ferimentos a seres vivos causados por descargas na estrutura)

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 3m ao redor dos condutores de descidas.

Nd (número de eventos perigosos para a estrutura)

Cd (Fator de localização)	2.5×10^{-1}
Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	$5.59/\text{km}^2 \times \text{ano}$
$Nd = Ng \times Ad \times Cd \times 10^{-6}$	$2.12 \times 10^{-3}/\text{ano}$

Pa (probabilidade de uma descarga na estrutura causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico)

Pta (Probabilidade de uma descarga a uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo)	1×10^{-2}
Pb (Probabilidade de uma descarga na estrutura causar danos físicos)	5×10^{-2}
$Pa = Pta \times Pb$	5×10^{-4}

La (valores de perda na zona considerada)

rt (Fator de redução em função do tipo da superfície do solo ou do piso)	1×10^{-2}
Lt (Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a um evento perigoso)	1×10^{-2}
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
tz (Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona considerada)	3120 h/ano
$La = rt \times Lt \times (nz/nt) \times (tz/8760)$	3.35×10^{-5}

$$Ra = Nd \times Pa \times La$$

$$Ra = 3.55 \times 10^{-11}/\text{ano}$$

Componente Rb (risco de danos físicos na estrutura causado por descargas na estrutura)

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.

Nd (número de eventos perigosos para a estrutura)

Cd (Fator de localização)	2.5×10^{-1}
Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	$5.59/\text{km}^2 \times \text{ano}$
$Nd = Ng \times Ad \times Cd \times 10^{-6}$	$2.12 \times 10^{-3}/\text{ano}$
Pb (Probabilidade de uma descarga na estrutura causar danos físicos)	5×10^{-2}

Lb (valores de perda na zona considerada)

rp (Fator de redução em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio)	5x10 ⁻¹
rf (Fator de redução em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura)	1x10 ⁻³
hz (Fator aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial)	5
Lf (Número relativo médio típico de vítimas feridas por danos físicos devido a um evento perigoso)	1x10 ⁻¹
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
tz (Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona considerada)	3120 h/ano
Lb = rp x rf x hz x Lf x (nz/nt) x (tz/8760)	8.38x10 ⁻⁵

$$Rb = Nd \times Pb \times Lb$$

$$Rb = 8.89 \times 10^{-9} / \text{ano}$$

Componente Ru (risco de ferimentos a seres vivos causados por descargas na linha conectada)

Componente relativo a ferimentos aos seres vivos, causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura.

AL (área de exposição equivalente de descargas para a terra que atingem a linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
LL (Comprimento da seção de linha)	1000 m	1000 m
AL = 40 x LL	40000 m ²	40000 m ²
Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	5.59/km ² x ano	

NL (Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas na linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Ci (Fator de instalação da linha)	1	1
Ct (Fator do tipo de linha)	1	1
Ce (Fator ambiental)	0.1	0.1
NL = Ng x AL x Ci x Ce x Ct x 10 ⁻⁶	2.23x10 ⁻² /ano	2.23x10 ⁻² /ano

Ndj (número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Adj (Área de exposição equivalente da estrutura adjacente)	0 m ²	0 m ²
Cdj (Fator de localização da estrutura adjacente)	0.25	0.25
Ndj = Ng x Adj x Cdj x Ct x 10 ⁻⁶	0/ano	0/ano
Ptu (Probabilidade de uma estrutura em uma linha que adentre a estrutura causar choques a seres vivos devidos a tensões de toque perigosas)	1	
Peb (Probabilidade em função do NP para qual os DPS foram projetados)	0.02	

Pu (probabilidade de uma descarga em uma linha causar ferimentos a seres vivos por choque elétrico)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Pld (Probabilidade dependendo da resistência Rs da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso Uw do equipamento)	1	1
Cld (Fator dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento)	1	1
Pu = Ptu x Peb x Pld x Cld	2x10 ⁻²	2x10 ⁻²

Lu (valores de perda na zona considerada)

rt (Fator de redução em função do tipo da superfície do solo ou do piso)	1x10 ⁻²
Lt (Número relativo médio típico de vítimas feridas por choque elétrico devido a um evento perigoso)	1x10 ⁻²
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
tz (Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona considerada)	3120 h/ano
Lu = rt x Lt x (nz / nt) x (tz / 8760)	3.35x10 ⁻⁵

$$Ru = Ru.E + Ru.T$$

$$Ru = [(NL.E + Ndj.E) \times Pu.E \times Lu] + [(NL.T + Ndj.T) \times Pu.T \times Lu]$$

$$Ru = 3 \times 10^{-8} / \text{ano}$$

Componente Rv (risco de danos físicos na estrutura causada por descargas na linha conectada)

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.

AL (área de exposição equivalente de descargas para a terra que atingem a linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
LL (Comprimento da seção de linha)	1000 m	1000 m
AL = 40 x LL	40000 m ²	40000 m ²
Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	5.59/km ² x ano	

NL (Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas na linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Ci (Fator de instalação da linha)	1	1
Ct (Fator do tipo de linha)	1	1
Ce (Fator ambiental)	0.1	0.1
NL = Ng x AL x Ci x Ce x Ct x 10 ⁻⁶	2.23x10 ⁻² /ano	2.23x10 ⁻² /ano

Ndj (número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Adj (Área de exposição equivalente da estrutura adjacente)	0 m ²	0 m ²
Cdj (Fator de localização da estrutura adjacente)	0.25	0.25
Ndj = Ng x Adj x Cdj x Ct x 10 ⁻⁶	0/ano	0/ano
Peb (Probabilidade em função do NP para qual os DPS foram projetados)	0.02	

Pv (probabilidade de uma descarga em uma linha causar danos físicos)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Pld (Probabilidade dependendo da resistência Rs da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso Uw do equipamento)	1	1
Cld (Fator dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento)	1	1
Pv = Peb x Pld x Cld	2x10 ⁻²	2x10 ⁻²

Lv (valores de perda na zona considerada)

rp (Fator de redução em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio)	5x10 ⁻¹
rf (Fator de redução em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura)	1x10 ⁻³
hz (Fator aumentando a quantidade relativa de perda na presença de um perigo especial)	5
Lf (Número relativo médio típico de vítimas feridas por danos físicos devido a um evento perigoso)	1x10 ⁻¹
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
tz (Tempo, durante o qual as pessoas estão presentes na zona considerada)	3120 h/ano
Lv = rp x rf x hz x Lf x (nz/nt) x (tz/8760)	8.38x10 ⁻⁵

$$R_v = R_{v.E} + R_{v.T}$$

$$R_v = [(NL.E + Ndj.E) \times Pv.E \times Lv] + [(NL.T + Ndj.T) \times Pv.T \times Lv]$$

$$R_v = 7.49 \times 10^{-8} / \text{ano}$$

Resultado de R1

O risco R1 é um valor relativo a uma provável perda anual média, calculado a partir da soma dos componentes de risco citados.

$$R1 = Ra + Rb + Ru + Rv$$

$$R1 = 1.14 \times 10^{-7} / \text{ano}$$

Risco de perdas de serviço ao público (R2)

Os resultados para risco de perda de serviço ao público levam em consideração os componentes de risco de descargas na estrutura e próximo desta, e descargas em uma linha conectada à estrutura e próximo desta.

Componente Rb (risco de danos físicos na estrutura causada por descargas na estrutura)

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.

Nd (número de eventos perigosos para a estrutura)

Cd (Fator de localização)	2.5x10 ⁻¹
Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	5.59/km ² x ano
Nd = Ng x Ad x Cd x 10 ⁻⁶	2.12x10 ⁻³ /ano
Pb (Probabilidade de uma descarga na estrutura causar danos físicos)	5x10 ⁻²

Lb (valores de perda na zona considerada)

rp (Fator de redução em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio)	5x10 ⁻¹
rf (Fator de redução em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura)	1x10 ⁻³
Lf (Número relativo médio típico de vítimas feridas por danos físicos devido a um evento perigoso)	1x10 ⁻¹
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
Lb = rp x rf x Lf x (nz/nt)	4.71x10 ⁻⁵

$$R_b = Nd \times Pb \times Lb$$

$$R_b = 4.99 \times 10^{-9} / \text{ano}$$

Componente Rc (risco de falha dos sistemas internos causado por descargas na estrutura)

Componente relativo a falhas de sistemas internos, causados por pulsos eletromagnéticos devido às descargas atmosféricas. Perda de serviço ao público pode ocorrer em todos os casos, junto com a perda de vida humana, 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.

Nd (número de eventos perigosos para a estrutura)

Cd (Fator de localização)	2.5×10^{-1}
Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	$5.59/\text{km}^2 \times \text{ano}$
$Nd = Ng \times Ad \times Cd \times 10^{-6}$	$2.12 \times 10^{-3}/\text{ano}$

Pc (probabilidade de uma descarga na estrutura causar falha a sistemas internos)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Pspd (Probabilidade em função do nível de proteção para qual os DPS foram projetados)	2×10^{-2}	1
Cld (Fator dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento)	1	1
$Pc.E = Pspd.E \times Cld.E$, $Pc.T = Pspd.T \times Cld.T$	2×10^{-2}	1
$Pc = 1 - [(1 - Pc.E) \times (1 - Pc.T)]$	1	

Lc (valores de perda na zona considerada)

Lo (Número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos devido a um evento perigoso)	1×10^{-2}
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
$Lc = Lo \times (nz/nt)$	9.42×10^{-3}

$$Rc = Nd \times Pc \times Lc$$

$$Rc = 2 \times 10^{-5}/\text{ano}$$

Componente Rm (risco de falha dos sistemas internos causado por descargas perto da estrutura)

Componente relativo a falhas de sistemas internos, causados por pulsos eletromagnéticos devido às descargas atmosféricas. Perda de serviço ao público pode ocorrer em todos os casos junto com a perda da vida humana, 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.

Nm (Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas perto da estrutura)

Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	$5.59/\text{km}^2 \times \text{ano}$
Am (Área de exposição equivalente de descargas que atingem perto da estrutura)	811364.21 m^2
$Nm = Ng \times Am \times 10^{-6}$	$4.53/\text{ano}$

Pm (probabilidade de uma descarga perto da estrutura causar falha de sistemas internos)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Pspd (Probabilidade em função do nível de proteção para qual os DPS foram projetados)	2×10^{-2}	1
Ks1 (Fator relevante à efetividade da blindagem por malha de uma estrutura)	1	1
Ks2 (Fator relevante à efetividade da blindagem por malha dos campos internos de uma estrutura)	1	1
Ks3 (Fator relevante às características do cabeamento interno)	1	1
Uw (Tensão suportável nominal de impulso do sistema a ser protegido) (kV)	4	1
Ks4 (Fator relevante à tensão suportável de impulso de um sistema)	2.5×10^{-1}	1
$Pms = (Ks1 \times Ks2 \times Ks3 \times Ks4)^2$	6.25×10^{-2}	1
$Pm.E = Pspd.E \times Pms.E$, $Pm.T = Pspd.T \times Pms.T$	1.25×10^{-3}	1
$Pm = 1 - [(1 - Pm.E) \times (1 - Pm.T)]$	1	

Lm (valores de perda na zona considerada)

Lo (Número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos devido a um evento perigoso)	1×10^{-2}
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
$Lm = Lo \times (nz/nt)$	9.42×10^{-3}

$$Rm = Nm \times Pm \times Lm$$

$$Rm = 4.27 \times 10^{-2} / \text{ano}$$

Componente Rv (risco de danos físicos na estrutura causada por descargas na linha conectada)

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.

AL (área de exposição equivalente de descargas para a terra que atingem a linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
LL (Comprimento da seção de linha)	1000 m	1000 m
$AL = 40 \times LL$	40000 m ²	40000 m ²
Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	5.59/km ² x ano	

NL (Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas na linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Ci (Fator de instalação da linha)	1	1
Ct (Fator do tipo de linha)	1	1
Ce (Fator ambiental)	0.1	0.1
$NL = Ng \times AL \times Ci \times Ce \times Ct \times 10^{-6}$	$2.23 \times 10^{-2} / \text{ano}$	$2.23 \times 10^{-2} / \text{ano}$

Ndj (número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Adj (Área de exposição equivalente da estrutura adjacente)	0 m ²	0 m ²
Cdj (Fator de localização da estrutura adjacente)	0.25	0.25
$Ndj = Ng \times Adj \times Cdj \times Ct \times 10^{-6}$	0/ano	0/ano
Peb (Probabilidade em função do NP para qual os DPS foram projetados)	0.02	

Pv (probabilidade de uma descarga em uma linha causar danos físicos)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Pld (Probabilidade dependendo da resistência Rs da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso Uw do equipamento)	1	1
Cld (Fator dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento)	1	1
$P_v = P_{eb} \times P_{ld} \times C_{ld}$	2×10^{-2}	2×10^{-2}

Lv (valores de perda na zona considerada)

rp (Fator de redução em função das providências tomadas para reduzir as consequências de um incêndio)	5×10^{-1}
rf (Fator de redução em função do risco de incêndio ou explosão na estrutura)	1×10^{-3}
Lf (Número relativo médio típico de vítimas feridas por danos físicos devido a um evento perigoso)	1×10^{-1}
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
$L_v = r_p \times r_f \times L_f \times (nz/nt)$	4.71×10^{-5}

$$R_v = R_v.E + R_v.T$$

$$R_v = [(NL.E + Ndj.E) \times P_v.E \times L_v] + [(NL.T + Ndj.T) \times P_v.T \times L_v]$$

$$R_v = 4.21 \times 10^{-8}/ano$$

Componente Rw (risco de falha dos sistemas internos causado por descargas na linha conectada)

Componente relativo a falhas de sistemas internos, causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perda de serviço ao público pode ocorrer em todos os casos, junto com a perda de vida humana, 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.

AL (área de exposição equivalente de descargas para a terra que atingem a linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
LL (Comprimento da seção de linha)	1000 m	1000 m
$AL = 40 \times LL$	40000 m ²	40000 m ²
Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	5.59/km ² x ano	

NL (Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas na linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Ci (Fator de instalação da linha)	1	1
Ct (Fator do tipo de linha)	1	1
Ce (Fator ambiental)	0.1	0.1
$NL = N_g \times AL \times C_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6}$	$2.23 \times 10^{-2}/ano$	$2.23 \times 10^{-2}/ano$

Ndj (número de eventos perigosos para uma estrutura adjacente)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Adj (Área de exposição equivalente da estrutura adjacente)	0 m ²	0 m ²
Cdj (Fator de localização da estrutura adjacente)	0.25	0.25
$N_{dj} = N_g \times Adj \times C_{dj} \times C_t \times 10^{-6}$	0/ano	0/ano

Pw (probabilidade de uma descarga em uma linha causar falha a sistemas internos)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Pspd (Probabilidade em função do nível de proteção para qual os DPS foram projetados)	2×10^{-2}	1
Pld (Probabilidade dependendo da resistência R_s da blindagem do cabo e da tensão suportável de impulso U_w do equipamento)	1	1
Cld (Fator dependendo das condições de blindagem, aterramento e isolamento)	1	1
$P_w = P_{spd} \times P_{ld} \times C_{ld}$	2×10^{-2}	1

Lw (valores de perda na zona considerada)

Lo (Número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos devido a um evento perigoso)	1×10^{-2}
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
$L_w = L_o \times (nz/nt)$	9.42×10^{-3}

$$R_w = R_w.E + R_w.T$$

$$R_w = [(NL.E + Ndj.E) \times P_w.E \times L_w] + [(NL.T + Ndj.T) \times P_w.T \times L_w]$$

$$R_w = 2.15 \times 10^{-4}/ano$$

Componente Rz (risco de falha dos sistemas internos causado por descargas perto da linha)

Componente relativo a falhas de sistemas internos, causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perda de serviço ao público pode ocorrer em todos os casos, junto com a perda da vida humana, 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.

Ai (área de exposição equivalente de descargas para a terra perto da linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
LL (Comprimento da seção de linha)	1000 m	1000 m
$A_i = 4000 \times LL$	4000000 m ²	4000000 m ²
Ng (Densidade de descargas atmosféricas para a terra)	5.59/km ² x ano	

NL (Número médio anual de eventos perigosos devido a descargas na linha)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Ci (Fator de instalação da linha)	1	1
Ct (Fator do tipo de linha)	1	1
Ce (Fator ambiental)	0.1	0.1
$NL = N_g \times A_i \times C_i \times C_e \times C_t \times 10^{-6}$	2.23/ano	2.23/ano

Pz (probabilidade de uma descarga perto da linha conectada à estrutura causar falha de sistemas internos)

	Linhas de energia (E)	Linhas de telecomunicações (T)
Pspd (Probabilidade em função do nível de proteção para qual os DPS foram projetados)	2×10^{-2}	1
Pli (Probabilidade de falha de sistemas internos devido a uma descarga perto da linha conectada dependendo das características da linha e dos equipamentos)	0.16	1
Cli (Fator que depende da blindagem, do aterramento e das condições da isolação da linha)	1	1
$P_z = P_{spd} \times P_{li} \times C_{li}$	3.2×10^{-3}	1

Lz (valores de perda na zona considerada)

Lo (Número relativo médio típico de vítimas por falha de sistemas internos devido a um evento perigoso)	1×10^{-2}
nz (Número de pessoas na zona considerada)	145
nt (Número total de pessoas na estrutura)	154
$Lz = Lo \times (nz/nt)$	9.42×10^{-3}

$$Rz = Rz.E + Rz.T$$

$$Rz = (NL.E \times Pz.E \times Lz) + (NL.T \times Pz.T \times Lz)$$

$$Rz = 2.11 \times 10^{-2}/ano$$

Resultado de R2

O risco R2 é um valor relativo a uma provável perda anual média, calculado a partir da soma dos componentes de risco citados.

$$R2 = Rb + Rc + Rm + Rv + Rw + Rz$$

$$R2 = 6.4 \times 10^{-2}/ano$$

Avaliação final do risco

O risco é um valor relativo a uma provável perda anual média. Para cada tipo de perda que pode ocorrer na estrutura, o risco resultante deve ser avaliado. Foram avaliados os seguintes riscos:

R1: risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes)

$$R1 = 0.01138 \times 10^{-5}/ano$$

Status: A instalação de um sistema de SPDA não é necessária, segundo a NBR5419/2015, pois $R \leq 10^{-5}$

R2: risco de perdas de serviço ao público

$$R2 = 64.01 \times 10^{-3}/ano$$

Status: A instalação de um sistema de SPDA é necessária, segundo a norma NBR5419/2015, pois $R > 10^{-3}$