



## DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DE GERENCIAMENTO DE RISCOS EM SPDA PARA A DISCIPLINA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS NO IFPB

**Tainá Nunes Oriente** – orientetaina@gmail.com  
Instituto Federal da Paraíba  
Rua das Castanholas, nº 157, Anatólia  
58052070 – João Pessoa – Paraíba

**Wesley da Cunha Santos** – wesleysantos@acm.org  
Instituto Federal da Paraíba  
Avenida Gouveia Nóbrega, nº 1289, Róger  
58020100 – João Pessoa – Paraíba

**Resumo:** Os sistemas de energia elétrica são altamente vulneráveis às descargas atmosféricas, sendo a integridade e a confiabilidade destes conferidas aos Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), regulamentados no Brasil pela NBR 5419. Este artigo descreve o desenvolvimento de um software que auxilia o gerenciamento de riscos para projetos de SPDA, utilizando a plataforma QtCreator, para a interface gráfica, e a linguagem de programação Python 3. O programa, cujo código é livre e aberto (FOSS), tem como público alvo estudantes de engenharia elétrica e apresentou resultados condizentes com a norma.

**Palavras-chave:** SPDA, gerenciamento de riscos, FOSS.

### 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de energia elétrica, cada vez mais difundidos e complexos, são altamente vulneráveis às descargas atmosféricas. Estes fenômenos naturais poderosos podem comprometer estruturas, equipamentos e pessoas, e sua incidência varia de acordo com a região do globo, apresentando uma tendência a se intensificar em grandes centros urbanos (COELHO, 2011).

A interação das descargas atmosféricas com seres humanos pode causar danos físicos desde leves queimaduras a paradas cardiorrespiratórias, levando ao óbito. Este forte impacto junto ao desenvolvimento da engenharia e da física levaram estudiosos a desvendar esses acontecimentos e a elaborar técnicas para a minimização de perdas por descargas atmosféricas. Entre elas, destaca-se o projeto e a instalação de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) para edificações, seguindo as normas técnicas em vigência.

A integridade e a confiabilidade dos sistemas de energia elétrica dependem da eficiência de um SPDA, que visa reduzir os danos causados às estruturas e às pessoas, os impactos dos desligamentos e as manutenções corretivas, enquanto protege as edificações, equipamentos e instalações (SOUZA *et al*, 2012). Seu funcionamento se baseia na captação e direcionamento da corrente elétrica proveniente das descargas

Organização



Promoção





atmosféricas para os sistemas de aterramento (estrutura externa, a saber: captadores, condutores de descida e aterramento) e na redução dos efeitos elétricos e magnéticos da corrente nos circuitos e nos equipamentos situados no volume protegido a partir da instalação de dispositivos como os Dispositivos de Proteção contra Surtos, conhecidos como DPS (estrutura interna).

A norma que regulamenta o projeto e a instalação de SPDA no Brasil é a NBR 5419 que, em sua atualização de 2015, recebeu novos conceitos e exigências a fim de aumentar a segurança de pessoas, estruturas e instalações, especialmente no que diz respeito à análise de riscos, antes não definida na norma. O trabalho do projetista foi incrementado significativamente, expandindo consideravelmente o número de tabelas a serem analisados, fatores a serem considerados e cálculos efetuados, abrindo espaço assim para softwares que intermediem esse processo.

Entretanto, tais softwares possuem fins lucrativos e são dispendiosos, o que caracteriza um empecilho para estudantes. A elaboração de um programa sem fins lucrativos, voltado para a comunidade acadêmica, permitirá aos estudantes o acesso a essa facilidade, possibilitando agilidade e maior eficiência no desenvolvimento de projetos. Além disso, sendo um software de código livre e aberto (FOSS), poderá ser revisado por outros estudantes, servindo de aprendizado e aberto a contribuições.

Ribeiro (2005) afirma que várias atividades educacionais poderiam ser enquadradas no conceito de aprendizagem baseada em problemas (ABP, ou *PBL* em inglês), entre elas os projetos. A ABP é definida como um ambiente de aprendizagem no qual o problema é empregado para iniciar, direcionar, incentivar e focar na aprendizagem, ao contrário dos métodos convencionais em que problemas de aplicação são abordados ao final na explanação de um conteúdo (Woods, 2000 *apud* Ribeiro, 2005).

Este trabalho é uma ferramenta para a proteção contra descargas atmosféricas, e facilita a análise das medidas necessárias para um projeto, considerando os riscos que a estrutura apresenta sem deixar de lado a economia. Sendo assim, contribui indiretamente para a redução dos casos de danos por descargas atmosféricas no contexto brasileiro. Mas ainda se apresenta como um incentivo à aprendizagem baseada na resolução de problemas, uma vez que fomenta o desenvolvimento de projetos em disciplinas relacionadas a instalações elétricas. O artigo apresenta inicialmente fundamentos teóricos sobre as descargas atmosféricas e os sistemas de proteção, seguido da apresentação da metodologia utilizada e alguns resultados acompanhados de considerações.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Descargas atmosféricas

Souza et al (2012) descreve os raios como fenômenos complexos, aleatórios e probabilísticos que intrigam e fascinam os seres humanos por toda a história. Entre os gregos, são explicados através da história de Zeus; entre os nórdicos, a explicação vem com o deus Thor; na história egípcia, há o deus Seth; além de outras divindades como o deus hindu Indra e o deus asteca Tlaloc relacionados aos fenômenos atmosféricos.

No campo da ciência, a compreensão de que os raios são fenômenos de natureza elétrica veio com Benjamin Franklin, que em conjunto com o cientista francês Thomas-Fraçois D’Alibard, em 1752, introduziram o princípio de funcionamento dos para-raios.

Organização



Promoção





A metodologia experimental de Franklin consistia em colocar uma haste metálica aterrada abaixo de uma nuvem de tempestade. Ao aproximar da nuvem o corpo aterrado, propiciava o caminho de contato entre o solo e a nuvem, escoando para a terra a energia contida na nuvem. (SOUZA, 2012).

O atrito entre as partículas de água durante as fases do ciclo da água provoca uma troca

Organização



Promoção



de

Organização



Promoção



cargas elétricas. O vento colabora com a separação das cargas opostas, há uma concentração de cargas negativas na região inferior da nuvem enquanto as partículas positivas concentram-se no topo. Essa configuração induz uma concentração de cargas positivas no solo, e no momento em que o gradiente elétrico supera o limite de isolamento do ar, ocorre uma descarga preliminar chamada de piloto seguida de uma corrente de retorno excessivamente brilhante em direção à nuvem.

O Brasil é um dos países de maior incidência de descargas atmosféricas, que causam mortes, colapsos na rede elétrica (responsável por um terço dos desligamentos não programados no sistema de distribuição e por 40% das queimas de transformadores), sobretensões prejudiciais ao consumidor, incêndios e prejuízos no sistema de telecomunicações. Alguns dos fatores para tanto são a extensão territorial, a proximidade com a linha do equador e peculiaridades físicas e climatológicas (SOUZA, 2012).

## 2.2. Riscos decorrentes de descargas atmosféricas

Descargas atmosféricas podem oferecer riscos à vida humana e à integridade física de equipamentos e instalações, e grandes prejuízos financeiros. Segundo Telló *et al* (2007), um dos possíveis efeitos da exposição à corrente elétrica é a ocorrência da fibrilação ventricular do coração e para 99,5% das pessoas a corrente máxima suportada é dada pela Equação 1:

$$I = \frac{k}{t} \quad (1)$$

Em que  $t$  é o tempo de passagem da corrente no corpo humano e  $k$  está relacionada à massa do corpo. Além do choque por contato direto com a descarga ou com uma estrutura energizada, ainda ocorre o choque por tensão de passo. Esse choque é explicado pela ausência de equipotencialização do solo resulta em uma diferença de potencial entre as pernas de uma pessoa que caminha pelo local, este efeito é frequentemente observado em jogadores durante uma partida de futebol ou em gados no pasto.

A NBR 5419/2015 é dividida em quatro partes, a saber: princípios gerais da proteção contra descargas atmosféricas, gerenciamento de risco, danos físicos a estruturas e perigos à vida e, por último, sistemas elétricos e eletrônicos internos. A segunda estabelece os requisitos para a análise de riscos de uma estrutura e fornece os procedimentos de avaliação.

De acordo com a atualização da norma, para descobrir se uma estrutura requer um SPDA, projetistas brasileiros devem realizar um estudo mais profundo que a versão de 2005. São consideradas descargas que possam cair diretamente na estrutura, em linhas de dados e de energia ligadas à estrutura e inclusive em áreas próximas à estrutura. Três tipos de danos são considerados: ferimento a seres vivos, dano físico a estruturas e falhas em sistemas elétricos e eletrônicos. Em conjunto, são avaliadas as perdas: de vida ( $R_1$ ), de serviço público ( $R_2$ ), de patrimônio cultural ( $R_3$ ) e de valor econômico ( $R_4$ ).

É compreendido como risco o valor da probabilidade média anual de perdas (humanas ou materiais) relacionadas ao valor total (humano e material) do objeto

Organização



Promoção



protegido. Uma vez que os riscos foram calculados, devem ser comparados aos padrões toleráveis:  $10^{-5}$  para perda de vida humana;  $10^{-3}$  para perda de serviço público e  $10^{-4}$  para perdas de patrimônio cultural. Ao fim da análise, se algum desses parâmetros ultrapassa o limite tolerável, devem ser consideradas medidas de proteção e todos os cálculos são refeitos para verificar a suficiência de tais medidas.

### 2.3. Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas

A primeira função de um SPDA é neutralizar o poder de atração das pontas e o crescimento do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens por meio do permanente escoamento de cargas elétricas da atmosfera para terra. A segunda é oferecer um caminho preferencial, de baixa impedância, reduzindo os riscos decorrentes de sua incidência. Esses sistemas são divididos em quatro classes, e quanto menor a classe maior seu nível de proteção.

Para tanto, o aterramento é um ponto chave do sistema, e falhas nele podem comprometer o sistema como um todo. Recomenda-se a vistoria seguida de manutenção a cada três anos, para clientes comuns, e anual, para prestadoras de serviços elétricos. Entre os fatores mais comuns de falhas no sistema de aterramento está o desgaste por oxidação, fenômeno este que provoca isolação, impedindo a equipotencialização.

Devido à necessidade de atender às exigências dos órgãos reguladores, no que se refere à continuidade e qualidade dos serviços prestados pelas concessionárias, bem como à imposição de instalar sistemas de aterramento seguros e de baixo custo, torna-se necessário que os critérios de projeto de sistemas de aterramento contemplem, além da baixa frequência, os transitórios eletromagnéticos devidos a correntes impulsivas oriundas de descargas atmosféricas (TELLÓ *et al*, 2007).

## 3. METODOLOGIA

O programa foi baseado na segunda parte da NBR 5419/2015, sendo assim, inicialmente foram identificados os parâmetros descritos na norma que são cruciais para o gerenciamento de riscos para projetos de SPDA e foi analisado como esses se relacionam entre si, informações estas brevemente descritas na seção “*Riscos decorrentes de descargas atmosféricas*”. Levantadas essas informações, foi criado um banco de dados com as tabelas que abrangem tais parâmetros utilizando a plataforma de organização e análise de dados Excel, como a da Figura 1.

Figura 1 - Tabela do banco de dados em Excel.

	A	B	C
1	Fator de localização da estrutura	None	
2	Estrutura cercada por objetos mais altos	0.25	
3	Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0.5	
4	Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1	
5	Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2	
6			
7			
8			

A plataforma escolhida para o desenvolvimento da interface gráfica foi o QtCreator, um ambiente de desenvolvimento integrado multiplataforma que facilita a criação de

aplicações e dispositivos conectados. Os fatores motivadores para seu uso foi sua facilidade de utilização e abertura a outras plataformas.

Para a manipulação das tabelas, a realização dos cálculos, o salvamento e emissão de relatórios e o desenvolvimento de um instalador foi empregada a linguagem de alto nível Python 3. O Python é uma linguagem usada em muitos domínios de aplicação e é de fácil aprendizagem, largamente utilizada para iniciantes na programação. Para fornecimento das ferramentas para o desenvolvimento em Python, foi utilizado o ambiente PyCharm.

As entradas necessárias para o cálculo do risco total estão divididas em uma aba de informações gerais sobre a estrutura, chamada “*Características Estruturais*”, ilustrada na Figura 2, e em outras abas relacionadas às zonas definidas pelo projetista, exemplificadas na Figura 3. Novas abas são adicionadas conforme a necessidade do usuário.

Figura 2 - Primeira aba do programa.

The screenshot displays the SPDA software interface. At the top, there is a menu bar with 'File', 'Sobre', and 'Emitir'. Below the menu bar, there are tabs for 'Zona 1', 'Cálculos Zona 1', and 'Resumo'. The main content area is divided into three sections:

- Estrutura e Meio Ambiente:** This section contains input fields for 'Densidade de descargas', 'Largura da blindagem', 'Comprimento (m)', 'Largura (m)', 'Altura (m)', and 'D'. There is also a 'Ks1' field and a 'Calcular' button. A note states: 'Para blindagens metálicas contínuas com espessura não inferior a 0,1 mm,  $KS1 = KS2 = 10^{-4}$ '. There are also dropdown menus for 'Fator de localização da estrutura', 'Características da estrutura', and 'Nível de proteção', each with an associated input field. Two 'Calcular' buttons are present for 'Área de exposição equivalente' and 'Área de exposição equivalente perto da estrutura'.
- Linha de Energia:** This section includes 'Comprimento (m)' and 'Tensão suportável Uw' input fields. It features dropdown menus for 'Roteamento', 'Instalação', 'Ambiente', 'Condições do roteamento, blindagem e interliga', 'Tipo de linha externa', and 'Tipo da linha', each with an associated input field.
- Linha de Sinal:** This section has a similar layout to 'Linha de Energia', with 'Comprimento (m)' and 'Tensão suportável Uw' input fields, and dropdown menus for 'Roteamento', 'Instalação', 'Ambiente', 'Condições do roteamento, blindagem e interliga', 'Tipo de linha externa', and 'Tipo da linha'.

Figura 3 - Exemplo de entradas de uma zona.

SPDA

File Sobre Emitir

Características Estruturais Zona 1 Cálculos Zona 1 Resumo

Nome da Zona:

Tipo de superfície (Resistência de contato  $k \cdot \Omega$ ):

Proteção contra choque (descarga atmosférica na est):

Proteção contra choque (descarga atmosférica na lin):

Providência para incêndios:

Risco de Incêndio:

Risco:  Explosão  Incêndio  Explosão e Incêndio

Perigo especial:

Fiação interna:

Nível de proteção:

Fiação interna:

Nível de proteção:

Danos físicos:

Falhas de sistemas internos:

Fator para pessoas na zona:

Blindagem espacial interna ( $k_{s2}$ ):

Número de pessoas na zona:

Número de pessoas na estrutura:

Período de tempo de ocupação com pessoas (h/ano):

Parâmetros resultantes:  LA

LU

LB

LV

A última aba se refere aos parâmetros finais resultantes da análise de riscos. Além do processamento das entradas através de cálculos e indicações dos resultados na tela, o programa permite a emissão de um relatório com as principais informações do projeto e suas conclusões.

Com o protótipo em mãos, foram realizados testes incluindo os estudos de caso fornecidos pela norma para validação da execução do programa. Além disso, um instalador foi desenvolvido para divulgação e reprodução do programa.

#### 4. RESULTADOS

Foi descrito um teste utilizando como entradas as informações de um estudo de caso apresentado na norma.

Trata-se da estrutura de uma casa de campo, ilustrada na Figura 4. Para a situação descrita, é relevante avaliar o risco para perda de vida humana e para perda econômica. Entretanto, o usuário especificou que não fosse levado em conta perda a econômica. Sobre suas características gerais, foram obtidos os parâmetros da Figura 5.

Figura 4 - Casa de campo.

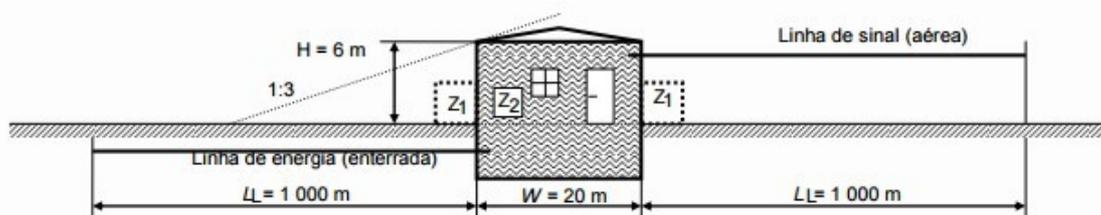


Figura 5 - Características estruturais da casa de campo.

A estrutura é dividida em duas zonas: dentro e fora de casa. Entretanto, é considerado que nenhuma pessoa permanecerá no exterior da casa durante uma tempestade e por isso seu risco  $R_A$  é igual a zero. Dentro da casa, somente uma zona  $Z_2$  é definida levando em consideração que:

- ambos sistemas internos (energia e telecom) se estendem através da casa;
- nenhuma blindagem espacial existe;
- a estrutura é um compartimento único à prova de fogo;
- perdas são assumidas como constantes em toda a casa.

Ao considerar os dados das zonas e das características gerais da estrutura, é encontrado um risco total  $R_1 = 2,51 \times 10^{-5}$ , superior ao risco tolerável  $R_T = 10^{-5}$  e descrito na Tabela 1.

Tabela 1- Componentes de riscos ( $\times 10^{-5}$ ).

		Z 1	Z2	Estrutu ra
Ferimento	$R_a$	-	$\approx 0$	$\approx 0$
	$R_u$		0,0 02	<b>0,002</b>
Danos físicos	$R_h$		0,1 03	<b>0,103</b>
	$R_v$		2,4	<b>2,4</b>
Tot al		-	2,5 1	<b>2,51</b>

É percebido que as contribuições principais ao valor de risco decorrem da componente  $R_V$  (descargas atmosféricas na linha) com 96 % de influência; e da componente  $R_B$  (descargas atmosféricas na estrutura) responsável por 4 %. Para reduzir o risco  $R_1$  a um valor tolerável, as medidas de proteção que influenciam os componentes  $R_V$  e  $R_B$  devem ser consideradas. Medidas adequadas incluem:

— instalação de DPS de classe IV na entrada da linha (ligação equipotencial para descargas atmosféricas) para proteger ambas as linhas de energia e telefone na casa, reduzindo o valor do fator acerca da presença de DPS de 1 a 0,05;

— instalação de um SPDA de classe IV (incluindo as ligações equipotenciais de descargas atmosféricas obrigatórias), reduzindo o valor acerca da presença de SPDA de 1 a 0,2.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta do projeto é disponibilizar o programa de gerenciamento de riscos em projetos de SPDA para a comunidade acadêmica, incentivando a metodologia da ABP, a começar pelos alunos da disciplina de Instalações Elétricas Prediais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. É interessante avaliar o desempenho dos alunos ao utilizar o software e sua satisfação, através de um questionário. Além disso, é válida uma análise acerca das contribuições que a ferramenta eventualmente trará no sentido de incentivar a aprendizagem baseada na resolução de problemas.

O programa está aberto a contribuições que garantam uma melhor experiência ao usuário. Uma sugestão, por exemplo, é estendê-lo para uma aplicação móvel. Outro aprimoramento poderia ser colher o índice de incidência de descargas atmosféricas ( $N_g$ ) a partir da localização informada pelo usuário, sem a necessidade do usuário buscar essa informação.

### *Agradecimentos*

Ao professor Lafayette Melo e ao professor Ronimack Trajano pela orientação durante a elaboração do trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2015.

RIBEIRO, L. R. C. (2005). UFSCAR – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. A Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL): Uma Implementação na Educação em Engenharia na Voz dos Atores, 2005. 205p, il. Tese (Doutorado).

SOUZA, André Nunes de; et al. SPDA – Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas: teoria, prática e legislação. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012. 192 p, il.

TELLÓ, Marcos; et al. Aterramento elétrico impulsivo, em baixa e alta frequências: com apresentação de casos. EDIPUCS: Porto Alegre, 2007. 328 p, il.

## **DEVELOPMENT OF A RISK MANAGEMENT SOFTWARE TO LPS FOR THE DISCIPLINE OF ELECTRICAL INSTALLATIONS IN IFPB**

***Abstract:** Electrical power systems are highly vulnerable to lightning discharges, and their integrity and reliability are conferred on the Lightning Protection Systems (LPS), which are regulated in Brazil by NBR 5419. By 2015, the regulatory standard has received new concepts and requirements, in particular on risk analysis of human and material loss. This article describes the development of software that helps risk management for LPS projects using the QtCreator platform for the graphical interface and the Python 3 programming language. The free and open source software (FOSS) targets students of electrical engineering.*

***Key-words:** LPS, risk management, FOSS.*