

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

AUGUSTO MATHIAS ADAMS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

CURITIBA

2024

AUGUSTO MATHIAS ADAMS

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Relatório de Estágio apresentado como parte da avaliação na disciplina TE349 – Estágio Obrigatório, no curso de Graduação em Engenharia Elétrica Ênfase em Sistemas Embarcados, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Estagiário: Augusto Mathias Adams

Matrícula: GRR20172143

Empresa: UFPR

Departamento: Grupo de Fenômenos da Eletricidade Atmosférica (FEA/UFPR)

Setor: Desenvolvimento e Inovação em Detectores de Descargas Atmosféricas

Supervisor: Prof. Dr. Mateus Duarte Teixeira

Período: 26/02/2024 - 29/06/2024.

Orientador: Prof. Dr. Armando Heilmann

CURITIBA

2024

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>3</b>
1.1	CONTEXTO	3
<b>2</b>	<b>ATIVIDADES REALIZADAS</b>	<b>4</b>
2.1	ATUALIZAÇÃO DOS ALGORITMOS DA REDE STORMDETECTOR	4
2.1.1	Rede SDN	4
2.1.2	Interface TrackingStorm	4
2.2	PRECIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS NA CONCEPÇÃO DO SISTEMA <i>STORMDETECTOR V2</i>	5
2.2.1	Projeto de <i>Hardware</i>	5
2.2.2	Projeto de <i>Software</i>	8
2.2.2.1	Softwares Adicionais	9
2.3	PROJETO DE ESTRUTURA DE FIXAÇÃO E LEVANTAMENTO DE REQUISITOS PARA LOCAIS DESTINADOS À INSTALAÇÃO DE DETECTORES <i>STORMDETECTOR V2</i>	10
2.4	POSSÍVEIS MELHORIAS DO DISPOSITIVO STORMDETECTOR V2	11
<b>3</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>13</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO

O Grupo de Fenômenos da Eletricidade Atmosférica da Universidade Federal do Paraná (*FEA/UFPR*) desenvolve desde 2018 um sistema de detecção, localização e processamento de informações de descargas atmosféricas, incluindo:

- **Dispositivo StormDetector (SD):** Um detector remoto de descargas atmosféricas com uma distância máxima de detecção de 20 *km*.
- **Rede StormDetector (SDN):** Uma rede de localização de raios baseada em detectores dispostos de forma aleatória, operando com algoritmos de estimativa de posição inicial e otimização de geolocalização.
- **Interface TrackingStorm (TS):** Uma interface interativa para visualização de informações sobre descargas atmosféricas, incluindo localização de raios, dinâmica de tempestades e emissão de alertas.

O *FEA/UFPR* desenvolve o *StormDetector V2*, com lançamento previsto para setembro de 2024, visando maior eficiência e acurácia de detecção. Este novo detector tem eficiência de detecção total nos eventos *CG* e *IC* acima de 95%, além de um alcance de detecção superior a 100 *km* para eventos *IC*.

A base tecnológica do *StormDetector V2*, juntamente com a atualização da *Rede SDN* e da *Interface TrackingStorm*, possibilitará a criação de uma *startup* dedicada à comercialização de tecnologias de detecção e monitoramento de raios. Em face a esta nova demanda, torna-se necessário atividades adicionais, tais como levantamento de requisitos de locais para a instalação dos novos detectores, precificação das tecnologias envolvidas e atualização dos algoritmos.

## 2 ATIVIDADES REALIZADAS

No decorrer do estágio, foram desenvolvidas diversas tarefas, abrangendo desde a pesquisa de locais estratégicos para a instalação dos novos detectores, passando pela precificação das tecnologias envolvidas e atualização de algoritmos da rede.

### 2.1 ATUALIZAÇÃO DOS ALGORITMOS DA REDE STORMDETECTOR

#### 2.1.1 Rede SDN

O *StormDetector V1* é um estimador de distância de descargas atmosféricas, baseado no circuito integrado AS3935, emitindo alertas sobre proximidade de descargas. A rede *StormDetector (SDN)* é uma rede de curto alcance (15 km) que utiliza algoritmos para separação de eventos e o algoritmo *Levenberg-Marquardt* para geolocalização.

O *StormDetector V2* requer mudanças na *SDN*, adaptando-se ao modo *TOA* ou *ATD*, com uma linha de base aumentada para 100 *km*. Devido à ausência de estimativa de distância, o algoritmo de separação de eventos original não pode ser utilizado, propondo-se um novo algoritmo de agrupamento baseado em programação evolutiva.

#### 2.1.2 Interface TrackingStorm

A interface de visualização de descargas *TrackingStorm* é uma interface *WEB* para visualização de dados referentes a descargas atmosféricas, com os seguintes produtos principais:

- **Raios:** Localização dos raios dos últimos 15 minutos na Rede *SDN*.
- **Áreas de Tempestade:** Agrupamento de raios em áreas de alta densidade.
- **Probabilidade de Ocorrência de Raios em Áreas Amplas (WAP):** Predetermina áreas amplas com possíveis raios nos próximos minutos.
- **Rastreamento de Tempestades:** Mantém históricos dos centroides das tempestades.
- **Dinâmica da Tempestade:** Calcula movimento, velocidade e direção das tempestades, e Taxa Média de Descargas (MSR).

- **Densidade de Extensão de Flashes (DEF):** Quantifica a intensidade da tempestade por densidade de flashes no solo.
- **Nível de Risco de Raios:** Define o nível de risco de raios em uma escala de 4 níveis.
- **Alertas:** Previsões de alertas baseadas na dinâmica e na área da tempestade.

As atualizações incluem:

- Classificação da descarga nos produtos *Raios*, *WAP*, *DEF* e Nível de Risco de Raios;
  - O Nível de Risco de Raios considera apenas descargas nuvem-solo (*CG*).
  - *WAP* e *DEF* são calculados para cada tipo de evento e para todos os eventos.
- Sistema de alertas antecipado para descargas nuvem-solo com base em descargas intra-nuvem (*IC*).

A interface foi atualizada para o *framework REACT* na construção da interface cliente e *Django*, em *Python*, para a implementação do servidor.

## 2.2 PRECIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS NA CONCEPÇÃO DO SISTEMA *STORMDETECTOR V2*

### 2.2.1 Projeto de *Hardware*

Os diagramas esquemáticos e placas para o dispositivo *StormDetector V2* foram desenvolvidas utilizando o *software EDA KiCad®* e os componentes utilizados na construção do protótipo são sumarizados na TABELA 1.

TABELA 1 – COMPONENTES DO PROJETO DE HARDWARE DO *STORMDETECTOR V2*

Componente	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Barra De Pinos Fêmea Mci 180º Pci 2.54mm 2x20	3	R\$ 0,50	R\$ 1,50
Barra De Pinos Header Mci 180º Pci 2.54mm 2x20	4	R\$ 2,00	R\$ 8,00

TABELA 1 – COMPONENTES DO PROJETO DE HARDWARE DO STORMDETECTOR V2

<b>Componente</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Custo Total</b>
<b>Barra de Pinhos Header Mci 180º Pci 2.54mm 2x20</b>	1	R\$ 1,00	R\$ 1,00
<b>Barra de Pinos Reta 1x5</b>	2	R\$ 1,00	R\$ 2,00
<b>Resistor 330R SMD 0603 1/10 W</b>	8	R\$ 0,10	R\$ 0,80
<b>Capacitor 100nF SMD 0805 50V</b>	5	R\$ 0,50	R\$ 2,50
<b>Led Amarelo 5mm Difuso Leitoso 1200mcd 620-625nm</b>	8	R\$ 0,50	R\$ 4,00
<b>Jack J4 P4 2,1mm Para Placa Dc-005</b>	3	R\$ 2,00	R\$ 6,00
<b>Conector USB 2.0 Para Placa</b>	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
<b>Regulador De Tensão Lm2596 Conversor Dc-dc Step Down</b>	3	R\$ 30,00	R\$ 90,00
<b>Bateria Litio 18650 12V 5000mAh</b>	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
<b>Placa Protótipo AD9226</b>	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
<b>Placa Protótipo FPGA Spartan 6 AX309</b>	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
<b>Raspberry PI Modelo 4 8GB RAM</b>	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00
<b>Filtro Passa Baixa 1MHz RF</b>	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
<b>Antena Mini-Whip 10kHz-30MHz Cabos</b>	+ 1	R\$ 150,00	R\$ 150,00

TABELA 1 – COMPONENTES DO PROJETO DE HARDWARE DO STORMDETECTOR V2

Componente	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Placa de Interconexão RPI-FPGA ADC – PCBWay	2	R\$ 8,50	R\$ 17,00
Placa de Processamento de Sinais – PCBWay	1	R\$ 8,50	R\$ 8,50
Placa de Alimentação - PCBWay	1	R\$ 8,50	R\$ 8,50
Caixa De Montagem 35x26x15	1	R\$ 180,00	R\$ 180,00
Tripé para fixação	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
		<b>Total Sem imposto</b>	R\$ 2.189,80
		<b>Total Com imposto (60%)</b>	R\$ 3.503,68

FONTE: O Autor, (2024).

O custo unitário do protótipo é de **R\$ 3.503,68**, com estrutura provisória inclusa.

No projeto está previsto alimentação por painéis solares, cujo orçamento é sumarizado na TABELA 2.

TABELA 2 – ORÇAMENTO DE KIT SOLAR PARA A ALIMENTAÇÃO DO DISPOSITIVO STORMDETECTOR V2

Componente	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Kit Energia Solar Off Grid s/ Inversor - 330Wp 220Ah 12V	1	R\$ 2,629.00	R\$ 2.629,00
String Box Solar Beny 4E/2S	1	R\$ 590,00	R\$ 590,00
Suporte Fixação Painel Solar	1	R\$ 241,90	R\$ 241,90
		<b>Total</b>	R\$ 3.460,90

FONTE: O Autor, (2024).

O custo total de *hardware* para o dispositivo *StormDetector V2*, considerando alimentação do dispositivo por energia solar, é de **R\$ 6.964,68**, desconsiderando custos de instalação e aquisição de local.



### 2.2.2 Projeto de *Software*

O custo total de implementação dos algoritmos implementados para o dispositivo *StormDetector V2* é sumarizado na TABELA 3.

TABELA 3 – LEVANTAMENTO DE COMPLEXIDADE E HORAS GASTAS NA CONSTRUÇÃO DO SOFTWARE E ALGORITMOS IMPLEMENTADOS EM HARDWARE (FPGA) DO DISPOSITIVO STORMDETECTOR V2

<b>Subsistema</b>	<b>Un.</b>	<b>Horas</b>	<b>Valor/Hora</b>	<b>Subtotal</b>
<b>DAQP – FPGA</b>	1	300	R\$ 100,00	R\$ 30.000,00
<b>SOFTGPSDO – FPGA</b>	1	300	R\$ 100,00	R\$ 30.000,00
<b>Protocolo StormDAQP – FPGA</b>	1	50	R\$ 50,00	R\$ 2.500,00
<b>DAQP – RPI</b>	1	50	R\$ 50,00	R\$ 2.500,00
<b>Detector de Ruído – ANN – RPI</b>	1	100	R\$ 100,00	R\$ 10.000,00
<b>Classificador de Eventos – CNN – RPI</b>	1	100	R\$ 100,00	R\$ 10.000,00
<b>Requadro de Eventos – RPI</b>	1	10	R\$ 50,00	R\$ 500,00
<b>Device Config – RPI</b>	1	10	R\$ 50,00	R\$ 500,00
<b>SOFTGPSDO – RPI</b>	1	10	R\$ 50,00	R\$ 500,00
<b>Protocolo StormDAQP – Central</b>	1	30	R\$ 50,00	R\$ 1.500,00
<b>Base de Dados StormDetector V2</b>	1	30	R\$ 50,00	R\$ 1.500,00
<b>Subsistema IOT</b>	1	30	R\$ 50,00	R\$ 1.500,00
<b>Interface WEB – Configuração</b>	1	40	R\$ 50,00	R\$ 2.000,00
<b>Total</b>		1060		R\$ 93.000,00

FONTE: O Autor, (2024).

O custo total estimado em implementação de *softwares* para o dispositivo *StormDetector V2* é de **R\$ 93.000,00**.

#### 2.2.2.1 Softwares Adicionais

O dispositivo *StormDetector V2* foi projetado como elemento de uma rede de localização de raios. Esta rede implementa algoritmos de localização e, juntamente com uma interface de visualização de informações, possibilita a tomada de ações quanto ao alerta de raios.

O orçamento de implementação destes *softwares* é sumarizado na TABELA 4.

TABELA 4 – LEVANTAMENTO DE PRECIFICAÇÃO E HORAS GASTAS NA CONSTRUÇÃO DA INTERFACE TRACKINGSTORM V2

<b>Subsistema</b>	<b>Un.</b>	<b>Horas</b>	<b>Valor/Hora</b>	<b>Subtotal</b>
<b>Rede SDN</b>	1	400	R\$ 100,00	R\$ 40.000,00
<b>Raios</b>	1	80	R\$ 50,00	R\$ 4.000,00
<b>Áreas de Tempestades</b>	1	80	R\$ 50,00	R\$ 4.000,00
<b>Rastreamento de Tempestades</b>	1	80	R\$ 50,00	R\$ 4.000,00
<b>Dinâmica das Tempestades</b>	1	80	R\$ 50,00	R\$ 4.000,00
<b>Probabilidade de Ocorrência de Raios em Áreas Amplas (WAP)</b>	1	80	R\$ 50,00	R\$ 4.000,00
<b>Densidade de Extensão de Flashes (DEF)</b>	1	50	R\$ 50,00	R\$ 2.500,00
<b>Nível de Risco de Raios</b>	1	50	R\$ 50,00	R\$ 2.500,00
<b>Alertas</b>	1	300	R\$ 50,00	R\$ 15.000,00
<b>Total</b>		1200		R\$ 80.000,00

FONTE: O Autor, (2024).

O custo total de implementação é de **R\$ 80.000,00**.

### 2.3 PROJETO DE ESTRUTURA DE FIXAÇÃO E LEVANTAMENTO DE REQUISITOS PARA LOCAIS DESTINADOS À INSTALAÇÃO DE DETECTORES *STORMDETECTOR V2*

A instalação do detector *StormDetector V2* requer cuidados para garantir um desempenho otimizado para a recepção de sinais de rádio emitidos pelas descargas atmosféricas. Recomenda-se que:

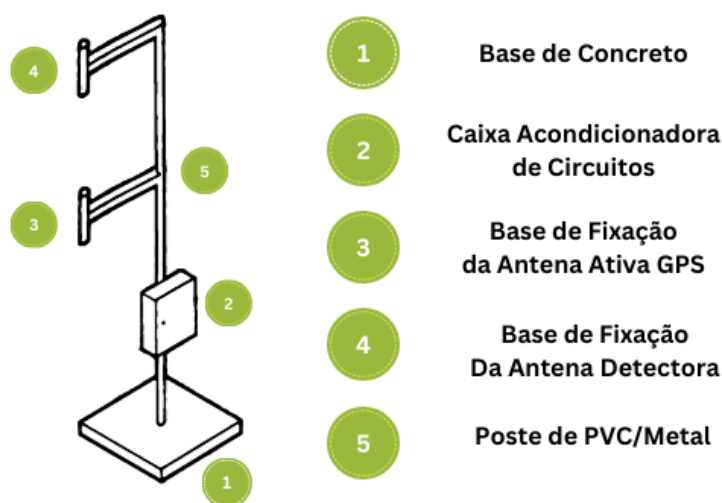
- **Localização Elevada:** a antena do dispositivo deve ser instalada em um local elevado, evitando obstruções e garantindo a melhora na recepção do sinal. Estruturas como mastros metálicos e postes de até 3 metros servem de apoio à antena e fixação da central de processamento.
- **Distância de Interferências:** a antena deve ser instalada longe de fontes de interferência eletromagnética, como linhas de alta tensão, equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos, para reduzir o ruído e melhorar a qualidade do sinal recebido.
- **Isolamento de Estruturas Metálicas:** não instalar a antena diretamente em estruturas metálicas. A utilização de suportes não condutivos, como postes de PVC ou fibra de vidro, é mandatório.
- **Aterramento adequado:** A antena do dispositivo detector requer um bom aterramento para funcionar corretamente. O sistema de aterramento deve ser bem projetado e implementado para evitar problemas de desempenho.
- **Área Aberta:** O local deve ter uma vista clara do céu, sem obstruções significativas ao redor, sendo importante para a recepção de sinais de baixa frequência (*VLf/LF/MF*), faixa do espectro que concentra a maior parte da energia emitida pelas descargas atmosféricas.

O projeto do sistema de fixação da antena e dispositivo, levando em consideração as recomendações, deve ser uma estrutura fixa para a antena de detecção e *GPS*, a pelo menos 1 metro de distância uma da outra, além ter pelo menos 3 metros de altura, em local plano e livre de interferências. O projeto preliminar da estrutura de fixação se encontra na FIGURA 1.

A estrutura de fixação projetada consiste de:

1. **Base de concreto:** Uma estrutura sólida e nivelada, projetada para suportar o peso e garantir a estabilidade do poste, mitigando movimentação indesejada devido ao vento ou outras forças externas.

FIGURA 1 – ESBOÇO DA ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DO DISPOSITIVO *STORMDETECTOR* V2



FONTE: O Autor, (2024).

2. **Caixa acondicionadora de circuitos:** Um compartimento resistente às intempéries, instalado a 1 metro de altura no poste, destinado a proteger e abrigar os circuitos eletrônicos e equipamentos sensíveis utilizados no sistema.
3. **Base de fixação da antena ativa GPS:** Suporte projetado para a antena GPS ativa. O suporte está a 2 metros do solo, minimizando interferências indesejadas para a antena de detecção.
4. **Base de fixação da antena detectora:** Um suporte robusto colocado no topo do poste, destinado a fixar a antena detectora de forma segura e estável.
5. **Poste de fixação metálico ou de PVC:** Um mastro de 3 metros de altura, feito de material durável como metal ou PVC, usado para montar todos os componentes em altura adequada.

## 2.4 POSSÍVEIS MELHORIAS DO DISPOSITIVO *STORMDETECTOR* V2

- **Uso de melhores osciladores - Oscilador disciplinado por GPS:** a base de tempo sincronizada do dispositivo *StormDetector* V2, embora funcione com precisão de  $3.901 \text{ ns}$ , ainda é dependente de tecnologia embarcada na *FPGA* utilizada. A placa protótipo escolhida contém um oscilador com estabilidade de 25 partes por milhão (ppm) e, apesar de suficiente para muitas aplicações, não tem estabilidade necessária para a precisão requerida, que é da ordem

de 10 partes por bilhão (ppb). O uso de osciladores precisos e até mesmo de osciladores disciplinados por *GPS* (*GPSDO*) são encontrados na literatura técnica como sendo soluções promissoras para o sincronismo verdadeiro, reduzindo a necessidade de sintetizadores de frequência e período feitas nos algoritmos implementados em *hardware* do dispositivo atual.

- **Mudanças de *Hardware*:** A *FPGA* escolhida para o projeto - *Spartan-6*, modelo *XC6SLX16-2FTG256C* não é recomendada para novos projetos, sendo necessária a sua substituição, caso o dispositivo se torne comercial. Os algoritmos implementados em *hardware* foram implementados em linguagem *VHDL*, utilizando somente primitivas *IEEE* em 95% do código, prevendo esta possibilidade.
- **Mudanças de *Software*:** A introdução de um *GPSDO* no dispositivo detector traz mudanças significativas nos algoritmos implementados em *hardware*, simplificando o controle de sincronismo do sistema. Para tanto, o uso do conceito de componentes conectáveis é utilizado e reforçado no código fonte, sendo necessário somente a substituição de um único componente para que o sistema funcione com esta nova estratégia de sincronização.

### 3 CONCLUSÕES

No decorrer do estágio, foram desenvolvidas diversas tarefas que contribuíram para o avanço das competências técnicas e práticas necessárias para a utilização eficaz do dispositivo *StormDetector V2*. As atividades realizadas abrangeram uma ampla gama de processos, desde levantamento de requisitos para locais destinados à instalação de detectores *StormDetector V2*, a precificação da tecnologia utilizada na construção do protótipo do detector, a atualização dos algoritmos da rede SDN, além de um breve estudo de possíveis melhorias relativas ao dispositivo.

A instalação do dispositivos em locais adequados requer uma análise cuidadosa das condições geográficas, tais como: localização elevada, o mais distante possível de interferências, obstáculos e estruturas metálicas, com acesso a um aterramento adequado. Estas condições levantadas são mandatórias para o bom funcionamento do dispositivo. O projeto do sistema de fixação da antena e dispositivo, levando em consideração estas recomendações, deve ser uma estrutura fixa para a antena de detecção e GPS, a pelo menos 1 metro de distância uma da outra, além de ter pelo menos 3 metros de altura, em local plano e longe de interferências.

A atualização dos algoritmos da rede *SDN* envolveu a mudança do sistema de localização de raios, de modo a adaptar-se ao novo dispositivo detector, além de atualizações de interface e linguagens de programação. O algoritmo de agrupamento *DESA* foi substituído por um algoritmo de agrupamento evolutivo - *MKM* - para a solução de separação e posição do raio, e incrementos na interface *TrackingStorm* com as informações do novo dispositivo foram disponibilizados.

A precificação da tecnologia utilizada na implementação do dispositivo *Storm-Detector V2*, bem como o sistema de rede de detecção e visualização de informações e *hardware*, envolveu listagem de horas gastas em sua implementação. A precificação de serviços executados em *software* envolve dois fatores: a complexidade da implementação do componente/subsistema, impactando no custo por hora; e as horas gastas para implementação dos algoritmos/sistema. A multiplicação de horas gastas pelo custo por hora, para cada componente, resulta no custo total de produção individual, que somados resulta no custo total da tecnologia empregada no dispositivo. O custo total de *software* é de **R\$ 173.000,00**, sendo o custo unitário de *hardware* do dispositivo estimado em **R\$ 6.964,68**.

A execução dos projetos propostos enfrenta desafios em diversos aspectos, tais como escolha de locais, análise de custos, gestão de fornecedores e prazos. Cada um desses aspectos requer planejamento e a capacidade de adaptar-se às condições

variáveis do ambiente e do mercado, garantindo a confiabilidade e a viabilidade financeira do dispositivo detector e dos demais sistemas envolvidos. Portanto, a experiência adquirida durante este estágio foi enriquecedora, pois permitiu o desenvolvimento de uma gama abrangente de habilidades, desde a pesquisa e planejamento até a execução técnica e a gestão de custos.

---

Augusto Mathias Adams  
Estagiário

---

Prof. Dr. Mateus Duarte Teixeira  
Supervisor