

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DADOS  
MICROMETEOROLÓGICOS E DE AEROSSÓIS**

**LUCAS DOUGLAS ROTHMUND**

**PROF. DR. OSVALDO BORGES PINTO JUNIOR**  
Orientador

**Cuiabá, MT  
ABRIL/2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DADOS  
MICROMETEOROLÓGICOS E DE AEROSSÓIS**

**LUCAS DOUGLAS ROTHMUND**

*Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Física Ambiental.*

**PROF. DR. OSVALDO BORGES PINTO JUNIOR**  
**Orientador**

**Cuiabá, MT  
ABRIL/2022**

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

RS46s Rothmund, Lucas Douglas.  
SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DADOS MICROMETEOROLÓGICOS  
E DE AEROSSÓIS / Lucas Douglas Rothmund. -- 2022  
xi, 64 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Osvaldo Borger Pinto Júnior.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,  
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2022.  
Inclui bibliografia.

1. Monitoramento. 2. Micrometeorologia. 3. Banco de Dados. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DADOS  
MICROMETEOROLÓGICOS E DE AEROSSÓIS**

**AUTOR (A): DOUTORANDO (A) Lucas Douglas Rothmund**

Tese defendida e aprovada em **06 de abril de 2022.**

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

**1. Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Jr.** (Presidente Banca / **Orientador**)

INSTITUIÇÃO: Universidade de Cuiabá

**2. Prof. Dr. Paulo Henrique Zanella de Arruda** (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

**3. Prof. Dr. Raphael de Souza Rosa Gomes** (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

**4. Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais** (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: Universidade de Cuiabá

**5. Prof. Dr. Geison Jader Mello** (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: Instituto Federal de Mato Grosso

**Cuiabá, 06/04/2022.**



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO**,  
**Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental -**  
**IF/UFMT**, em 17/05/2022, às 09:33, conforme horário oficial de Brasília, com  
fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de](#)

2020.



Documento assinado eletronicamente por **RAPHAEL DE SOUZA ROSA GOMES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 17/05/2022, às 09:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Oswaldo Borges Pinto Junior, Usuário Externo**, em 17/05/2022, às 10:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **GEISON JADER MELLO, Usuário Externo**, em 17/05/2022, às 11:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **PAULO HENRIQUE ZANELLA DE ARRUDA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 18/05/2022, às 00:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jonathan Willian Zangeski Novais, Usuário Externo**, em 18/05/2022, às 15:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmt.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4729238** e o código CRC **97F147BE**.

## DEDICATORIA

Ao professor José de Souza Nogueira (In Memoriam), pela amizade, conselhos, conhecimento e oportunidades a mim disponibilizados durante o tempo que convivemos. Descanse em paz professor.

## AGRADECIMENTOS

- ❖ Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao professor José de Souza Nogueira, pela orientação e amizade que tanto auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho. Descanse em paz professor, nós sentiremos saudades.
- ❖ Ao meu orientador Osvaldo Borges Pinto Junior pelo apoio e compreensão, principalmente nos momentos finais deste trabalho;
- ❖ À Barbara Muller, por todo carinho e suporte emocional;
- ❖ Aos meus pais, Cleonir e Gilmar pela confiança e incentivo em seguir o caminho da vida acadêmica;
- ❖ À minhas irmãs Vivian e Caroline por serem minhas confidentes;
- ❖ À Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PGFA) e ao Grupo de Pesquisa em Física e Meio Ambiente (GPFMA), pelas experiências que levarei com gratidão, para toda minha vida.
- ❖ As amigas nascidas através das muitas viagens à Base de Pesquisa em Poconé, em especial aos Professores Paraná, João, Rafael, Lúcio, Paulo, Higo e Osvaldo.
- ❖ A todos os amigos e colegas do PGFA, pelos momentos de descontração e companhia.
- ❖ Aos amigos do grupo de RPG, Barbara, Elio, Damaris, Damyris, Mateus e Roger, pelos momentos de lazer e distração tão necessários.
- ❖ Aos amigos que a vida fez por nos distanciar, mas que mesmo longe continuam me apoiando e incentivando nessa caminhada, em especial a Thaynara Larreny, Bruno Henrique e Vitor Hugo.
- ❖ À Cesário, Soilce, Juliana e Jesulina (Jô) pela colaboração nos serviços da secretaria, que tanto auxiliam o desenvolvimento do Programa;
- ❖ À FAPEMAT e CAPES, pelo apoio institucional e financeiro concedido durante esta pesquisa;
- ❖ E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 OBJETIVOS GERAIS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....</b>	<b>3</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 O PANTANAL MATO-GROSSENSE.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 MONITORAMENTO DE DADOS AMBIENTAIS .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 INSTRUMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SENSORES .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 INDICES DE RISCO DE INCÊNDIO.....</b>	<b>8</b>
<b>3 MATERIAL E METODOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DADOS AMBIENTAIS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 MÉTODOS DESENVOLVIDOS PARA COLETAS DE DADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>3.5 COLETA REMOTA DE DADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>3.6 PROCESSAMENTO DE DADOS.....</b>	<b>30</b>
<b>3.7 ARMAZENAMENTO DE DADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.8 CHECAGEM DE OUTLIERS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.9 VISUALIZAÇÃO DE DADOS USANDO GRAFANA .....</b>	<b>33</b>
<b>3.10 MODELOS DE DADOS.....</b>	<b>35</b>

<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>CÓDIGO ABERTO .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2</b>	<b>DISPONIBILIDADE DO SISTEMA .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3</b>	<b>REPLICABILIDADE E MANUTENÇÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>4.4</b>	<b>AVALIAÇÃO DE INDICES ADICIONAIS .....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 01</b> - Base Avançada de Pesquisas do Pantanal (BAPP).....	6
<b>FIGURA 02</b> - Localização da BAPP no município de Poconé-MT .....	9
<b>FIGURA 03</b> - Vista da Torre Micrometeorológica do Pantanal .....	10
<b>FIGURA 04</b> - Datalogger modelo CR1000 fabricado pela Campbell. CAMPBELL, 2018.....	11
<b>FIGURA 05</b> - Saldo Radiometro do tipo CNR4 fabricado pela Omni Instruments. OMNI INSTRUMENTS, 2018 .....	11
<b>FIGURA 06</b> - Sensores do tipo LI190SB (à esquerda) e LI200S (à direita). CAMPBELL, 1996 e 2015.....	12
<b>FIGURA 07</b> - Anemometro 2D Ultrasonico, visão do sensor à esquerda e sensor instalado na torre, a direita. GILL INSTRUMENTS, 2015.....	13
<b>FIGURA 08</b> – Pluviometro do tipo TE525MM-L instalado na torre micrometeorologica do pantanal .....	14
<b>FIGURA 09</b> - Disposição dos Thermistores e Fluxímetros de calor no solo.....	15
<b>FIGURA 10</b> - Vista da BAPMAP nas proximidades da BAPP .....	16
<b>FIGURA 11</b> - Aethalometro modelo AE42, a esquerda. Nefelometro Aurora 1000, a direita.....	17
<b>FIGURA 12</b> - MAAP Modelo 5012 .....	18
<b>FIGURA 13</b> – Estação Campbell – UFMT / Sinop .....	18
<b>FIGURA 14</b> - Modelo Esquemático representando a configuração física da rede local da Base de Pesquisa .....	21
<b>FIGURA 15</b> - Esquemática do Circuito utilizado para conexão do módulo GPS ao Raspberry Pi.....	23
<b>FIGURA 16</b> - Circuito impresso para o módulo GPS, à esquerda. Capa de proteção para o Raspberry Pi, feita em impressora 3D, à direita.....	23
<b>FIGURA 17</b> - Diagrama de Atividades representando o funcionamento do script de coleta e registro de dados da placa Raspberry Pi. ....	24
<b>FIGURA 18</b> – Modulo de Ethernet NL120.....	24
<b>FIGURA 19</b> - Diagrama de Atividades representando o funcionamento do script de coleta e registro de dados da placa Raspberry Pi. ....	25
<b>FIGURA 20</b> - Conteúdo do arquivo update_list.csv, responsável pela atualização dos dados .....	26
<b>FIGURA 21</b> - Diagrama de Atividades representando o funcionamento do Sistema de Monitoramento de Dados Ambientais. ....	27
<b>FIGURA 22</b> – Arquivos resultantes da coleta primária de dados.....	28
<b>FIGURA 23</b> – Diagrama de Atividades representando a coleta de dados de fontes externas .....	29

<b>FIGURA 24</b> - Conteúdo do arquivo <i>list_tables.csv</i> , responsável pelo armazenamento dos nomes das colunas para cada tabela .....	30
<b>FIGURA 25</b> – Código para criar a query para inserção de valores em uma tabela ..	31
<b>FIGURA 26</b> - Exemplo para uma query para criação de uma tabela.....	31
<b>FIGURA 27</b> – Código para criar a query para inserção de valores em uma tabela ..	32
<b>FIGURA 28</b> - Exemplo de uma query para inserção de valores em uma tabela.....	32
<b>FIGURA 29</b> - Exemplo de uma query para inserção de valores em uma tabela.....	33
<b>FIGURA 30</b> - Exemplo de um Painel na plataforma Grafana mostrando a temperatura (eixo principal) e a umidade relativa (eixo secundario).....	34
<b>FIGURA 31</b> - Exemplo de painel vazio .....	34
<b>FIGURA 32</b> - Demonstração de valores de uma coluna adicionada a um painel.....	35
<b>FIGURA 33</b> - Indice de Risco de Incêndio horario através dos Indices de Monte Alegre e de Lourenço. ....	36
<b>FIGURA 34</b> - Pagina para monitoramento da torre de Sinop .....	39
<b>FIGURA 35</b> - Diagrama de Atividades representando o funcionamento do Backup de dados implementado.....	40
<b>FIGURA 36</b> - Pagina inicial de acesso ao sistema de monitoramento da Baia das Pedras .....	41
<b>FIGURA 37</b> – Dashboard Monitoramento_TV .....	42
<b>FIGURA 38</b> - Painel presente no sistema de Monitoramento mostrando a umidade do ar amostrado pelos equipamentos .....	43
<b>FIGURA 39</b> - Número de focos de incêndio versus a média mensal dos valores estimados de indice de risco incêndio obtidos através da Formula de Monte Alegre. ....	45
<b>FIGURA 40</b> - Número de focos de incêndio versus a média mensal dos valores estimados de indice de risco incêndio obtidos através do Indice de Lourenço.....	45
<b>FIGURA 41</b> - Regressão linear entre o Número de focos de incêndio versus e a média mensal dos valores estimados de indice de risco incêndio obtidos através do Indice de Monte Alegre .....	46
<b>FIGURA 42</b> - Regressão linear entre o Número de focos de incêndio versus e a média mensal dos valores estimados de indice de risco incêndio obtidos através do Indice de Lourenço .....	47

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 01</b> – Ajustes para o IMA de acordo com a precipitação diária .....	36
<b>QUADRO 02</b> – Classificação de risco do Índice de Monte Alegre .....	37
<b>QUADRO 03</b> – Classificação de risco do Índice de Lourenço .....	37

## RESUMO

Com o papel do ser humano cada vez mais claro na equação que rege o planeta, o meio ambiente passou a ser alvo cada vez mais frequente em discussões, tornando-se pauta dos principais estudos relacionados a ação antrópica. Com o grande aumento no número de focos de incêndio característicos dos períodos secos, o monitoramento do efeito dos gases e aerossóis emitidos pelas queimadas se fez cada vez mais importante. O Grupo de Pesquisa em Física e Meio Ambiente realiza o monitoramento do Fluxo de Energia e Matéria desde 2012 na região da Baía das Pedras, localizada dentro da Reserva Particular do Patrimônio Natural do SESC Pantanal, e em 2020 na região urbana de Sinop, no campus da Universidade Federal de Mato Grosso. Estes dados são importantes para a compreensão da dinâmica dos efeitos dos aerossóis não somente no ecossistema local, mas também em nível global. O objetivo deste trabalho foi implementar um sistema de monitoramento de dados climáticos, desta maneira foi proposto o desenvolvimento de um sistema baseado em linguagem Python, utilizando Banco de Dados MySQL e Grafana como interface de interação com o usuário. Também foi avaliado o índice de risco de incêndio conhecido como Fórmula de Monte Alegre em comparativo com os focos de incêndio na região. O sistema demonstrou estabilidade durante quase 3 anos de operação, sendo feitas algumas modificações durante esse período e a Fórmula de Monte Alegre se mostrou um bom índice de risco de incêndio a ser aplicado para o pantanal e região.

**Palavras-chave:** Monitoramento, Micrometeorologia, Banco de Dados.

## ABSTRACT

With the role of the human being increasingly clear in the equation that governs the planet, the environment has become an increasingly frequent target in discussions, becoming the agenda of the main studies related to anthropic action. With the large increase in the number of fire foci characteristic of dry periods, monitoring the effect of gases and aerosols emitted by fires became increasingly important. The Research Group on Physics and Environment has been monitoring the Flow of Energy and Matter since 2012 in the Baia das Pedras region, located within the SESC Pantanal Private Natural Heritage Reserve, and in 2020 in the urban region of Sinop, on the campus of the Federal University of Mato Grosso. These data are important for understanding the dynamics of aerosol effects not only on the local ecosystem, but also globally. The objective of this work was to implement a climate data monitoring system, thus it was proposed the development of a Python-based system, using MySQL and Grafana database as user interaction interface. The fire risk index known as Formula de Monte Alegre was also evaluated in comparison with the fire outbreaks in the region. The system showed stability during almost 3 years of operation, some modifications were made during this period and the Monte Alegre Formula proved to be a good fire risk index to be applied to the Pantanal and region.

**Keywords:** Monitoring, Micrometeorology, Database.

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 PROBLEMÁTICA**

Desde o século passado, com a chegada da era industrial e o advento da globalização, houve grande mudança no modo de produção e ação sobre o meio ambiente, e com isso, os efeitos da ação antrópica no planeta de maneira desregrada tem acelerado a degradação do planeta, ocasionando as chamadas mudanças climáticas.

Com o papel do ser humano cada vez mais claro na equação que rege o nosso planeta, o meio ambiente passou a ser alvo cada vez mais frequente em discussões, fazendo com que a extinção de espécies, esgotamento de recursos naturais e o famigerado aquecimento global, se tornassem pauta dos principais estudos relacionados a ação antrópica.

Atualmente no Brasil há um grande debate sobre políticas ambientais e seus efeitos diretos na preservação da maior floresta tropical do mundo, a Amazônia. O Brasil tem sido foco das discussões ambientais devido ao grande aumento do número de focos incêndios nos últimos anos.

Na chamada Amazônia legal, a seca, junto a outros fatores, tem favorecido o aumento do número de focos de incêndio, com a área queimada em 2019 chegando a 72450 km<sup>2</sup>, representando um aumento de 168% em relação a 2018, com 43171 km<sup>2</sup>, o ano de 2020 manteve esses números em alta, chegando a 77396 km<sup>2</sup>, um crescimento de 107% com relação a 2019 e em 2021, houve uma “normalização”, voltando a um patamar próximo ao visto em 2018, com 45585 km<sup>2</sup> (INPE, 2021).

A região pantaneira, a apenas 500 quilômetros da borda da Amazônia legal, também sofreu com o aumento do número de queimadas, no ano de 2020 o número de focos de incêndio na região cresceu 452% em relação a 2019, a maior parte destes

focos são considerados de origem antrópica, o que acaba por dificultar a ação das equipes de controle do corpo de bombeiros.

Um dos grandes problemas relacionados a estes dados se deve ao monitoramento, graças à dificuldade de implementação e manutenção, o monitoramento ambiental da região se manteve basicamente com um processo de coleta local realizado mensalmente, fazendo com que o monitoramento, se tornasse um trabalho oneroso e imprevisível. Não sendo possível verificar o status de funcionamento dos equipamentos a distância, cada viagem para coleta e manutenção era provida de surpresas indesejáveis.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O estado de Mato Grosso apresenta grande biodiversidade, e o único no Brasil a possuir representatividade de três dos seis biomas do país: Amazônia, Cerrado e Pantanal. Com predominância do ambiente Amazônico (53,6%), concentrado ao norte do estado, porém possui grande área composta por cerrado (39,6%), e ao sul o bioma Pantaneiro (6,8). Isso faz com que haja grande demanda por pesquisas para a compreensão das dinâmicas ambientais e dos fenômenos que afetam esses biomas (IBGE, 2019).

Dentre os fenômenos que afetam o meio ambiente, destacasse a importância de monitorar o aumento da concentração de gases traços, bem como a concentração de aerossóis biogênicos e oriundos de queimadas, como por exemplo, o Black Carbon ou Carbono Negro, originado na queima incompleta de biomassa e considerado um dos maiores contribuintes na dinâmica das mudanças climáticas globais, atrás somente do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

O Grupo de Pesquisa em Física e Meio Ambiente (GPFMA), vem monitorando alguns destes fatores a alguns anos, fazendo parte do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PGFA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), o grupo atua desde 2012 com o objetivo de estudar e entender a dinâmica do ecossistema do ponto de vista físico, no contexto das mudanças globais, bem como os impactos da ação antrópica sobre esses ecossistemas.

O monitoramento microclimático, portanto, se faz importante na obtenção de dados que auxiliem a compreensão da complexidade do ecossistema pantaneiro, que devido a sua localização privilegiada, grande extensão territorial e ampla disponibilidade hídrica, contribui substancialmente no processo de transferência de água da superfície para a atmosfera.

Pelo meio de torres micrometeorológicas instaladas no Pantanal e cerrado, o grupo tem trabalhado com dinâmica de fluxos e matéria desde sua fundação e recentemente, em parceria com o Laboratório de Física Atmosférica (LFA) da USP, passou a monitorar as propriedades óticas de aerossóis no Pantanal mato-grossense.

Com a implantação dos equipamentos de monitoramento de propriedades óticas de aerossóis, e devido a sensibilidade dos equipamentos bem como a facilitação do trabalho fez com que o monitoramento remoto dos dados e equipamentos fosse necessário.

### **1.3 OBJETIVOS GERAIS**

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de monitoramento de medidas microclimáticas e de aerossóis no Pantanal Mato-Grossense.

### **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Implementar um sistema automático de coleta remota de dados;
- Disponibilizar uma plataforma para monitoramento dos dados e equipamentos;
- Implementar um sistema de alertas para falhas na série de dados e equipamentos;
- Implementar um índice de risco de incêndio usando a Fórmula de Monte Alegre para monitoramento de risco de incêndio.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 O PANTANAL MATO-GROSSENSE**

Segundo o IBGE (2013), com uma área total de aproximadamente 150 mil km<sup>2</sup>, o bioma pantaneiro ocupa cerca de 2% do território nacional, reconhecido como a maior planície alagada do planeta terra, foi considerado patrimônio nacional pela Constituição Federal brasileira de 1988 e Reserva da Biosfera e Patrimônio Natural da Humanidade pela UNESCO no ano 2000.

O Pantanal consiste em um mosaico de muitas comunidades vegetais com frequentes mudanças abruptas normalmente correlacionadas com a topografia e regime de inundação. Por ser uma região de encontro entre os ecossistemas do Cerrado, Floresta Amazônica e as planícies do Chaco, o Pantanal dispõe de uma enorme biodiversidade animal e vegetal (PRANCE & SCHALLER, 1982; JUNK, 2013).

Um dos fenômenos característicos da região pantaneira se deve a sazonalidade da inundação, cerca de 12% da área alagável é temporária, caracterizada pelos pulsos de inundação providos pelo rio Paraguai e seus afluentes, caracterizando um período de cheia e um de seca extensiva, o que a torna de alto risco de incêndios devido a densidade da vegetação (DALMAGRO *et al*, 2018; PADOVANI, 2010).

Regiões alagáveis dispõem de grandes benefícios para o ambiente e para as necessidades humanas, provendo um amplo suprimento de água, peixes e madeira, fazendo com que o extrativismo, junto da pecuária tenham se tornado a base da economia da região nas últimas décadas (JUNK, 2013). A pecuária por sua vez gera mais impacto no meio ambiente, por meio da mudança da vegetação para criação de gado, esta atividade se dá a mais de 200 anos na região (PRANCE & SCHALLER, 1982).

### **2.1.1 A Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN SESC Pantanal**

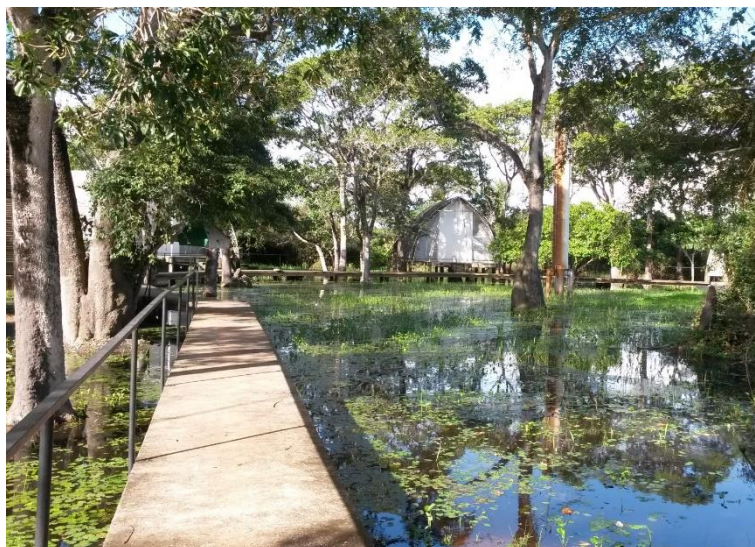
Devido a importância da conservação do ecossistema pantaneiro, em 04 de julho de 1997, através da portaria nº71/97N do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, foi reconhecida a designada como Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Sesc Pantanal, com extensão de 87.971,44 Hectares. Com o tempo novas áreas foram englobadas a reserva, totalizando 107,996 Hectares, correspondendo a cerca de 1% da extensão total do Pantanal mato-grossense, dando origem a maior RPPN do Brasil (SESC, 2019).

### **2.1.2 Parceria UFMT / SESC**

Atendendo ao Edital CNPq/PELD 002/2001, a Universidade Federal de Mato-Grosso encaminhou a proposta institucional de criação e consolidação do CPP (Centro de Pesquisas do Pantanal), posteriormente conhecido como BAPP (Base Avançada de Pesquisas do Pantanal), projeto este aprovado ainda em dezembro de 2001 e sua implementação se iniciou em julho de 2002 através do Edital FINEP 03/01 (CT-Infra) (NOGUEIRA, 2002).

A proposta englobou 20 subprojetos com pesquisadores atuantes em todos os programas de pós-graduação da UFMT, com objetivo geral de elaborar propostas efetivas para o manejo e conservação da biodiversidade regional, tomando como área principal a RPPN SESC Pantanal e visando contribuir para a melhoria da qualidade de vida das pessoas que vivem na região (NOGUEIRA, 2002).

Desde então esta parceria se mostrou benéfica tanto para o SESC quanto para a UFMT, pois ao proporcionar uma infraestrutura de apoio (Figura 01) e melhores condições de trabalho para os grupos de pesquisas ecológicas da UFMT foi possível iniciar estudos de longo prazo na região. Os resultados destes estudos são vistos em forma de publicações em diversos meios de divulgação científica, sendo alguns deles: BIUDES *et al*, 2012; SANCHES *et al*, 2010; CORDEIRO, 2004; JORGE, 2008; ARIEIRA, 2006; BEIRIGO, 2011.



**FIGURA 01** - Base Avançada de Pesquisas do Pantanal (BAPP)

## **2.2 MONITORAMENTO DE DADOS AMBIENTAIS**

Segundo a Agência Espacial Brasileira (2018), os dados ambientais são informações fundamentais em diversas áreas de atuação, como previsão meteorológica, agricultura de precisão, monitoramento de recursos hídricos, prevenção de desastres naturais entre outras aplicações.

Para a captação de dados ambientais normalmente se utilizam estações ou torres micrometeorológicas equipadas com sensores e equipamentos capazes de medir os dados em campo, viabilizando uma grande resolução temporal. Porém, em termos gerais, o modelo convencional de coleta de dados ambientais é realizado em ambientes distantes de difícil acesso e normalmente é constituído pela amostragem e armazenamento local, para então, após a coleta, ser realizada a análise e estudos possíveis através destes dados.

Entretanto, os equipamentos comercializados para monitoramento de variáveis meteorológicas normalmente apresentam alguns problemas, sendo equipamentos proprietários de código fechado e possuindo custo muito elevado. Restringindo o usuário a equipamentos de um único fabricante, e com uso restrito a personalizações (HELAL et al, 2020).

Por consequência, a manutenção convencional destes equipamentos instalados em campo se torna dispendiosa apresentando desvantagens, seja pelo custo de

reposição de um equipamento comercial, ou pela grande demanda de tempo e necessidade de deslocamento aos locais de estudo (LIMA, 2011). Para facilitar o trabalho de manutenção, melhor organização de viagens a estações de monitoramento e possibilitar a obtenção de dados climáticos em tempo hábil, tem sido cada vez mais urgente a capacidade de monitorar dados e equipamentos remotamente.

Para tal, a solução mais comum que tem surgido em diversas áreas tem se dado através do desenvolvimento de instrumentos alternativos, como o sistema de aquisição de dados desenvolvido por Da Silva (2007) ou o sistema de automatização para agricultura de precisão proposto por Ramos (2019). Estas aproximações normalmente buscam o aumento de eficiência e a automaticidade do sistema, fazendo com que a atuação humana não seja necessária.

### **2.3 INSTRUMENTAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE SENSORES**

O monitoramento ambiental realizado pelo Grupo de Pesquisa em Física e Meio Ambiente foi realizado através de projetos de pesquisa que possibilitaram a aquisição de diversos equipamentos comerciais (descritos na metodologia nos itens 3.1 e 3.2 deste trabalho) que operam em conjunto com equipamentos “alternativos” desenvolvidos através de trabalhos de discentes como os de Marques (2016) e o de Oliveira (2018).

A popularização de microcontroladores com simplificação da linguagem de programação (Arduino e etc), devido a remoção da barreira que era a dificuldade de integração de componentes eletrônicos e juntamente com interfaces cada vez mais amigáveis, houve um grande aumento do número de soluções personalizadas integrando hardware e software (HELAL et al, 2020).

Trabalhos como os de Helal et al. (2020), que desenvolveu um sistema para monitoramento de dados ambientais e oceanográficos, e Oliveira (2018) que integrou um sistema de bombas de ar a um analisador de gás para gerar um perfil de CO<sub>2</sub> com a utilização de um único analisador de gás, se tornaram cada vez mais comuns.

A utilização de instrumentos alternativos na maioria das vezes se dá devido ao custo menor de implementação e desenvolvimento se comparados a compra de equipamentos comerciais semelhantes. Apesar de, normalmente possuírem precisão

semelhante e menor robustez, estas alternativas apresentam resultados muito satisfatórios e tem a vantagem de maior customização de acordo com o perfil do usuário (CAMERINI et al., 2011, HELAL et al., 2020).

## **2.4 INDICES DE RISCO DE INCÊNDIO**

As ocorrências de incêndios florestais, assim como sua velocidade de propagação e intensidade, estão intrinsecamente relacionadas as condições meteorológicas. Assim, índices de risco de incêndio utilizam informações atmosféricas e/ou espaciais a fim de indicar a facilidade de propagação de incêndios em uma determinada região, refletindo também, qual a possibilidade de ocorrência de focos de queimadas (DEPPE et al., 2004).

Normalmente, os resultados obtidos para este tipo de índice demonstram um comportamento sazonal correlato às condições meteorológicas da região em que são aplicados, refletindo principalmente o regime pluviométrico e servindo de indicador para os períodos mais secos do ano.

Existem diversos índices de risco ou perigo de incêndio, e normalmente eles se baseiam nas condições meteorológicas atuais, não levando em consideração as condições anteriores, mas existem fórmulas como a de Monte Alegre (FMA), um índice de risco de incêndio desenvolvido no Brasil que utiliza fatores cumulativos de uma sucessão de dias, como por exemplo, o número de dias sem chuva (LIMA, 2021).

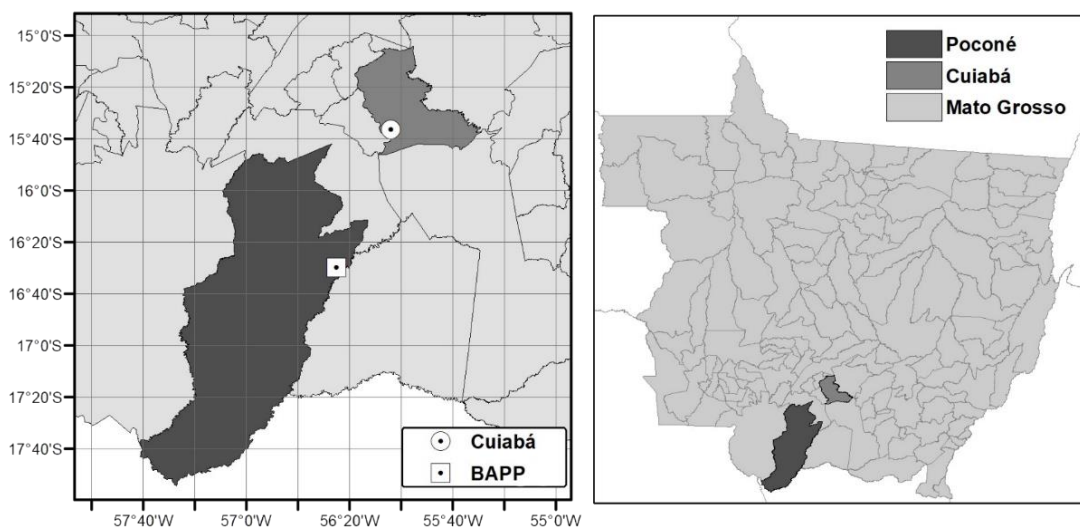
### 3 MATERIAL E METODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho foi implementado em dois locais de estudos, um no Pantanal Mato-grossense e outro na região urbana de Sinop.

##### 3.1.1 Base Avançada de Pesquisas do Pantanal (BAPP)

O local de estudos do Pantanal está situado na Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN SESC – Pantanal, em uma região conhecida como Baía das Pedras (16°29'52" S; 56°24'47" O) (Figura 02), onde o GPFMA possui instaladas a Torre de Micrometeorológica do Pantanal e a BAPMAP (Base Avançada de Pesquisa e Monitoramento Ambiental do Pantanal).



**FIGURA 02** - Localização da BAPP no município de Poconé-MT

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como Aw, tropical semiúmido, com invernos secos e verões chuvosos. A média anual térmica e pluviométrica é de aproximadamente 26,5°C e 1420 mm, respectivamente, com regime de chuva sazonal e o período seco com duração de abril a setembro (BIUDES, 2015).

Ambas estão instaladas próximo a BAPP, pertencente a UFMT, esta região está a 150 metros de altura em relação ao nível do mar e com uma vegetação considerada próxima a nativa pantaneira, com estandes de espécies monodominantes como o

Pombeiro (*Combretum lanceolatum* Pohl), Algodão-do-Pantanal (*Ipomoea carnea* spp.) e alguns exemplares de Cambará (*Vochysia divergens* Pohl) (NASSARDEN, 2015; BIUDES, 2015).

### **3.1.1.1 Torre Micrometeorológica do Pantanal**

O GPFMA mantém sob sua tutela desde 2010, a Torre Micrometeorológica do Pantanal (Figura 03), estrutura de ferro galvanizado com patamar de 20m de altura além de uma extensão de 12m, totalizando 32 metros de altura. Esta estrutura possibilita a instalação de diversos equipamentos e sensores para monitoramento de variáveis microclimáticas, descritos no item 3.3.



**FIGURA 03** - Vista da Torre Micrometeorológica do Pantanal

A Torre conta com sensoriamento utilizando diversos equipamentos, entre eles: **Registradora de dados CR1000 (CR1000 Datalogger):** De acordo com a CAMPBELL (2017), sua fabricante, o CR1000 (Figura 04) é o Datalogger mais utilizado dentre os fabricados pela empresa, consiste em um módulo de controle e um painel para conexão de fios, pode operar longos períodos com uma bateria recarregada por placas solares. O CR1000 é muito utilizado pelo GPFMA devido a sua robustez e

facilidade de manuseio e programação, possuindo bibliotecas predefinidas para uma ampla gama de sensores.



**FIGURA 04** - Datalogger modelo CR1000 fabricado pela Campbell. CAMPBELL, 2018

**Saldo Radiômetro CNR4 (CNR4 Net Radiometer):** Fabricado pela *Omni Instruments*, o CNR4 (Figura 05) é descrito como um equipamento composto de 4 sensores solares, consiste em um par de Piranômetros e um par de Pirgeômetros. Cada par com uma face para cima, medindo radiação que está incidindo pela atmosfera, e um par virado para baixo, medindo a radiação que está saindo para a atmosfera. Este sensor consegue dividir a radiação em ondas longas e ondas curtas, incidente e refletida/emitada e está instalado no patamar da torre à 20 metros de altura.



**FIGURA 05** - Saldo Radiômetro do tipo CNR4 fabricado pela Omni Instruments. OMNI INSTRUMENTS, 2018

**LI200S (Piranômetro) e LI190SB (Quantum):** Sensores desenvolvidos pela LICOR, o LI190SB (Figura 06, à esquerda) é um sensor quantum que monitora com precisão a radiação na faixa de 400~700nm, também conhecida como Radiação Fotossinteticamente Ativa ou PAR (*Photosynthetically Active Radiation*), já o LI200S

(Figura 06, a direita) é um sensor do tipo Piranômetro, que monitora radiação solar global. Ambos estão instalados junto ao CNR4 no patamar da torre (20m).



**FIGURA 06** - Sensores do tipo LI190SB (à esquerda) e LI200S (à direita). CAMPBELL, 1996 e 2015.

**HMP45 (Termo-higrômetros):** São sensores desenvolvidos pela Vaisala e designados para obtenção de medidas de umidade e temperatura. São facilmente conectados aos dataloggers fabricados pela Campbell e normalmente acompanhados por abrigos que os protegem das intempéries e garantem melhores medidas.

**GILL-1405-PK-040 (Anemômetro 2D Ultrassônico):** Fabricado pela Gill, é um sensor utilizado para medição de velocidade e direção do vento a até 60 m/s (Figura 07, à esquerda). É um sensor muito preciso, instalado com o intuito de substituir os tradicionais anemômetros de concha. Atualmente há três sensores deste modelo instalado na torre (Figura 07, à direita), nas alturas de 21, 25 e 30 metros.



**FIGURA 07** - Anemometro 2D Ultrasonico, visão do sensor à esquerda e sensor instalado na torre, a direita. GILL INSTRUMENTS, 2015

**Perfil de CO<sub>2</sub>:** O instrumento para obtenção do Perfil de CO<sub>2</sub> em funcionamento atualmente é uma adaptação da instrumentação descrita por Oliveira (2018), onde através de um sistema de válvulas controlada por uma placa Raspberry Pi, foi capaz de obter leituras simultâneas de concentração de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O em 4 alturas distintas (1,05m, 3,35m, 7,35m e 18,34m), utilizando somente um analisador de gás do tipo LI-840A, fabricado pela LI-COR.

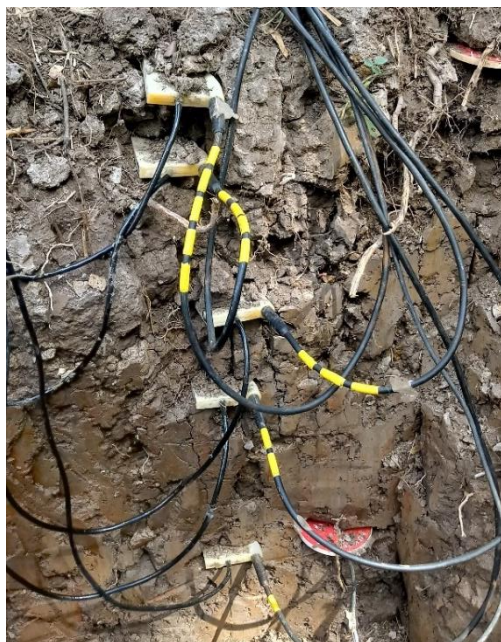
**TE525MM-L (Pluviômetro):** Fabricado pela Texas Electronics, é um medidor de precipitação pluviométrica que monitora as chuvas em unidades métricas. Ele mede a precipitação em incrementos de 0,1 mm e possui um funil de 24,5 cm. Sendo compatível com todos os registradores de dados da Campbell Scientific, é amplamente utilizado em aplicações de monitoramento ambiental. Está situado a 20 metros de altura (Figura 08).



**FIGURA 08** – Pluviometro do tipo TE525MM-L instalado na torre micrometeorologica do pantanal

**HFP01-L20 (Fluxo de Calor no Solo):** Para medidas de fluxo de calor no solo, foram utilizados Fluxímetros fabricados pela Hukseflux Thermal Sensors, são sensores que dão como saída um sinal de tensão que é proporcional ao fluxo de calor que está cercando o sensor. Estão instalados a 1, 7, 15, 30 e 50 cm de profundidade, como pode ser visto na Figura 09.

**Termistores 108-L (Temperatura do Solo):** Fabricado pela Campbell, são termistores simples capazes de medir temperaturas entre  $-5^{\circ}$  a  $95^{\circ}\text{C}$  e estão instalados a 01, 07, 15, 30 e 50 cm de profundidade, também visto na Figura 09.



**FIGURA 09** - Disposição dos Termistores e Fluxímetros de calor no solo

**TDR CS616 (Umidade do Solo):** Utilizados os sensores do tipo TDR fabricados pela Campbell Scientific, é um sensor que mede o conteúdo volumétrico de água dos meios porosos (como o solo), de 0% a saturação. Estão dispostos a 20, 40 e 60 cm sob a superfície.

### **3.1.1.2 Base Avançada de Pesquisas Ambientais do Pantanal (BAPMAP)**

A BAPMAP (Figura 10) é uma estrutura construída através de projeto de pesquisa em 2013, e garantindo o direito de uso, foi utilizada em uma campanha de medições antiga (2013~2014), e posteriormente reformada e reativada em 2017 pelo GPFMA.

Sua localização foi determinada estrategicamente, devido à proximidade com a BAPP/UFMT e da Torre Micrometeorológica do Pantanal, estando dentro de sua área de influência (*Footprint*), disponibilizando dados micrometeorológicos que podem ser utilizados para complementar os dados obtidos através dos equipamentos instalados na BAPMAP.

Além de dispor de toda a infraestrutura disponibilizada pela BAPP, que conta com alojamento, cozinha e principalmente proximidade a rede elétrica, a BAPMAP conta com desumidificador de ar e ar-condicionado para manter o seu interior com

pouca umidade, ideal para o funcionamento de equipamentos eletrônicos. Também estão instalados aqui diversos sensores de monitoramento do solo como Temperatura, Umidade e Fluxo de calor no Solo.



**FIGURA 10** - Vista da BAPMAP nas proximidades da BAPP

Esta infraestrutura permitiu uma parceria com a Universidade de São Paulo, que cedeu equipamentos ao grupo de pesquisa, proporcionando a instalação de um Aethalômetro, dois Nefelômetros e um MAAP no interior da BAPMAP e dando início ao monitoramento de aerossóis na região. Anteriormente esse tipo de monitoramento não era possível devido a sensibilidade dos equipamentos ao tempo e principalmente a umidade. Entre os sensores instalados no local estão:

**AE42 (Aethalômetro):** Fabricado pela *Magee Scientific*. Um Aethalômetro (Figura 11) é um instrumento utilizado para medir a absorção de luz por partículas de aerossol depositadas em um filtro utilizando sete comprimentos de onda e quantificar a concentração de massa de *Black Carbon*. Para isso, o equipamento mantém uma constante amostragem de aerossóis sob um filtro e mede a luz transmitida por este filtro carregado de partículas (MAGEE, 2010).

**Aurora 1000 (Nefelômetro):** Fabricado pela Ecotech, é um Nefelômetro de um único comprimento de onda. O instrumento (Figura 11) é capaz de medir o coeficiente de

espalhamento dos aerossóis contidos em uma amostra de ar em um único comprimento de onda especificado pelo usuário (ECOTECH, 2013).



**FIGURA 11** - Aethalometro modelo AE42, a esquerda. Nefelometro Aurora 1000, a direita.

**IN101 (Nefelômetro):** É um Nefelômetro, assim como o Aurora 1000, porém mais compacto e capaz de medir o coeficiente de espalhamento dos aerossóis contidos em uma amostra de ar em três comprimentos de onda específicos (RGB) (AIR PHOTON, 2014).

**Model 5012 MAAP (do inglês, Multiangle Absorption Photometer):** É um equipamento capaz de medir a absorção de luz relacionada ao aerossol e a correspondente concentração de massa atmosférica de carbono preto. Seu funcionamento é similar ao Aethalômetro, porém um MAAP (Figura 12), diferente do Aethalômetro, mede não só a luz transmitida pelo filtro, mas também a luz dispersa por ele, sendo assim, mais preciso em sua estimativa de absorção e concentração de *Black Carbon* (THERMO SCIENTIFIC, 2009).

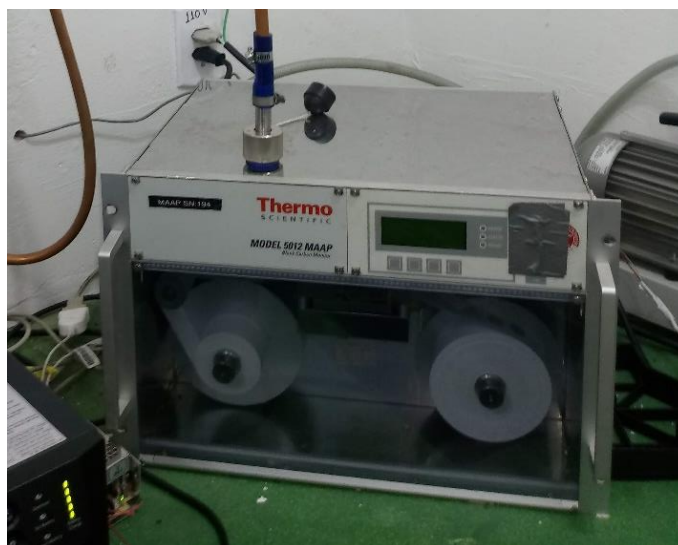


FIGURA 12 - MAAP Modelo 5012

### 3.1.2 Torre Campo Experimental - UFMT / Sinop

O local de estudos de Sinop está situado no campus da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT ( $11^{\circ}51'53.5''S$ ,  $55^{\circ}28'52.0''O$ ), em uma região representativa de área urbana, sem vegetação nativa em seus arredores (Figura 13), onde o GPFMA possui instalada uma Torre Micrometeorológica de aproximadamente 3 metros de altura.



FIGURA 13 – Estação Campbell – UFMT / Sinop

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região, também é caracterizado como Aw, tropical semiúmido, com invernos secos e verões chuvosos

com média anual térmica e pluviométrica de aproximadamente 26,5°C e 1420 mm, respectivamente, com regime de chuva sazonal e o período seco com duração de abril a setembro (SOUZA et al., 2013).

A torre contém equipamentos semelhantes aos encontrados na torre do Pantanal, compondo uma estação meteorológica completa:

**Registradora de dados CR1000 (CR1000 Datalogger):** Da mesma maneira que na Torre Micrometeorológica do Pantanal, a torre de Sinop também utiliza o CR1000 como registradora de dados.

**Saldo Radiômetro NR-LITE2 (NR-LITE2 Net Radiometer):** Fabricado pela Campbell Scientific, o NR-LITE2 é descrito como um equipamento composto de 2 sensores solares, consiste em um par de Piranômetros. Um com uma face para cima, medindo radiação que está incidindo pela atmosfera, e um par virado para baixo, medindo a radiação que está saindo para a atmosfera. Assim este sensor consegue dividir a radiação em incidente e refletida/emitida e está instalado à 3 metros de altura.

**HMP45 (Termo-higrômetros):** São sensores desenvolvidos pela Vaisala e designados para obtenção de medidas de umidade e temperatura. São facilmente conectados aos dataloggers fabricados pela Campbell e normalmente acompanhados por abrigos que os protegem das intempéries e garantem melhores medidas.

**034A/034B (Anemômetro):** Fabricado pela Campbell, é um sensor utilizado para medição de velocidade e direção do vento a até 75 m/s. Atualmente há um sensor deste modelo instalado na torre na altura de 3 metros.

**TB4MM (Pluviômetro):** Fabricado pela Campbell Scientific, é um medidor de precipitação pluviométrica que monitora as chuvas em unidades métricas. Ele mede a precipitação em incrementos de 0,2 mm e possui um funil de 20,3 cm. É amplamente utilizado em aplicações de monitoramento ambiental e está situado a 2 metros de altura.

**HFP01-L20 (Fluxo de Calor no Solo):** Para medidas de fluxo de calor no solo, foram utilizados Fluxímetros fabricados pela Hukseflux Thermal Sensors, são sensores que dão como saída um sinal de tensão que é proporcional ao fluxo de calor que está cercado o sensor. Está instalado a 15cm de profundidade.

**Termistores 108-L (Temperatura do Solo):** Fabricado pela Campbell, são termistores simples capazes de medir temperaturas entre  $-5^{\circ}$  a  $95^{\circ}\text{C}$  e estão instalados a 01, 07, 15, 30 e 50 cm de profundidade.

**TDR CS616 (Umidade do Solo):** Utilizados os sensores do tipo TDR fabricados pela Campbell Scientific, é um sensor que mede o conteúdo volumétrico de água dos meios porosos (como o solo), de 0% a saturação. Estão dispostos a 20, 40 e 60 cm sob a superfície.

### **3.2 SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DADOS AMBIENTAIS**

Para monitoramento das estruturas apresentadas no tópico 3.1 acima, foi desenvolvido um sistema de monitoramento contendo alguns métodos para coleta, processamento, armazenamento, manipulação e visualização desses dados em tempo real. Esses métodos serão descritos nos tópicos abaixo:

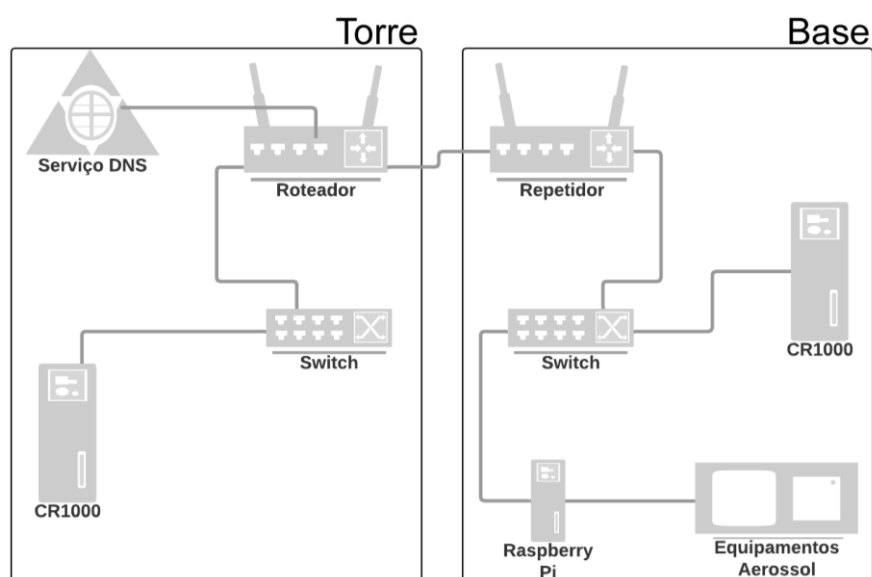
### **3.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO**

No caso da Torre Micrometeorológica do Pantanal foi necessário criar um ambiente que permitisse a comunicação da torre com a internet para que fosse possível realizar o monitoramento dos dados e dos equipamentos a distância.

#### **3.3.1 Rede local**

A primeira etapa se fez na configuração de uma rede local de computadores para que fosse possível a troca de dados através dela, a rede foi proposta com a intenção de conectar todos os registradores e equipamentos e configurada com a utilização de um roteador TP-Link Modelo TL-MR3020, com a função de conexão via dados móveis, localizado na torre.

Como pode ser visto na Figura 14, estão conectados ao roteador principal através de um switch, todos os equipamentos presentes na torre. O sinal do roteador é então repetido por um roteador do tipo TL-WR941HP localizado na BAPMAP (Base), onde estão conectados os equipamentos ali presentes.



**FIGURA 14** - Modelo Esquemático representando a configuração física da rede local da Base de Pesquisa

### 3.3.2 Dados Móveis e configuração da internet

A proximidade com as instalações do SESC nos permitiu utilizar a rede GPRS disponível no local, como meio de conexão externa para coleta de dados e monitoramento. Para tal, o Roteador Wireless da marca TP-Link Modelo TL-MR3020 foi escolhido de antemão por possuir as funcionalidades requeridas para a configuração da rede. Essas funcionalidades são:

**Reserva de endereço IP:** Importante para evitar que aconteça a troca involuntária de endereços IP e facilitar a organização da rede interna, para tal foi criado um padrão onde, a faixa 192.168.0.10X foi reservada para registradores do tipo Raspberry pi e a faixa 192.168.0.2X para registradores do tipo CR1000.

**Dynamic DNS:** Função que permite a conexão com um serviço de DDNS (descrito no item 3.5.3).

**Port Forwarding ou Virtual Server:** Função que permite o que um computador seja acessível pela internet, direcionando portas externas para portas específicas na rede interna. Por exemplo, ao acessar a porta *meuservidordns.org*, o serviço de *Port Forwarding* do roteador pode ser configurado para direcionar o acesso ao IP 192.168.0.21.

### 3.3.3 Servidor DDNS

Ao conectar o roteador local a rede de dados móveis, é comum receber um IP que permite o acesso externo a rede através da internet. Porém, sempre que o roteador é reiniciado, ou até mesmo após algum tempo de conexão este IP é alterado automaticamente, fazendo com que não seja mais possível o acesso pelo IP anterior, gerando um problema de conexão.

Para resolver este problema foi utilizado um servidor de DDNS. Que, de maneira simples, se trata de um serviço que possibilita a ligação de um domínio a um número IP. Para tal, foi contratado os serviços do servidor de DDNS conhecido como DynDns, e configurado um domínio, atribuído ao roteador presente na torre, tornando possível conectar-se à rede local através da internet sempre que necessário, ou seja, ao conectar por exemplo ao *meuexemplo.dyndns.org*, o serviço já sabe a qual IP deveria direcionar essa conexão.

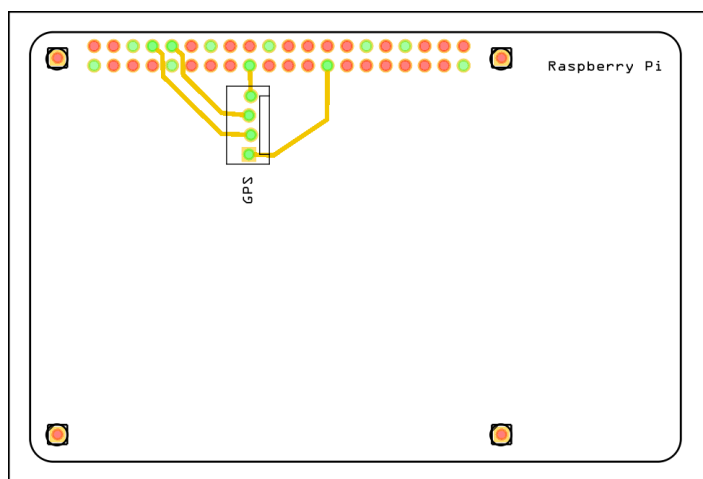
## 3.4 MÉTODOS DESENVOLVIDOS PARA COLETAS DE DADOS

A coleta de dados foi um dos principais problemas encontrados, pois cada equipamento utilizado é único e possui necessidades específicas. Assim, foram desenvolvidos alguns tipos de coleta de dados para o sistema.

### 3.4.1 COLETA DE DADOS EM CAMPO

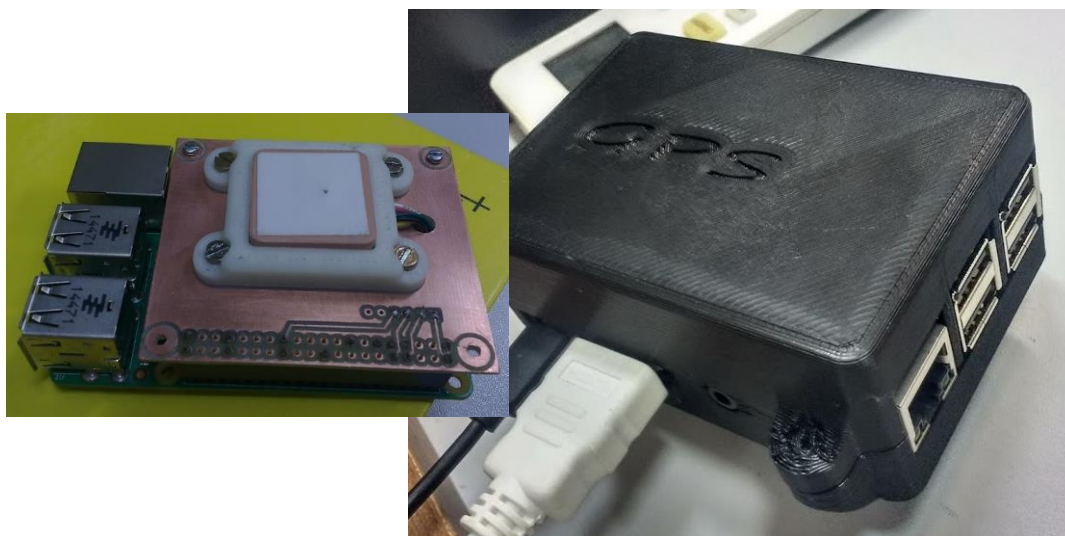
#### 3.4.1.1 *Via cabo serial usando Raspberry Pi*

Para coleta local desenvolvemos um Registrador de dados utilizando uma *Raspberry Pi*, que foi instalada juntamente a um módulo GPS, cujo objetivo é manter a precisão do tempo de coleta dos dados, para que a instalação do módulo ficasse mais estável foi necessária a confecção de um circuito simples visto na Figura 15, que permitisse a conexão correta e segura dos componentes.



**FIGURA 15** - Esquemática do Circuito utilizado para conexão do módulo GPS ao Raspberry Pi

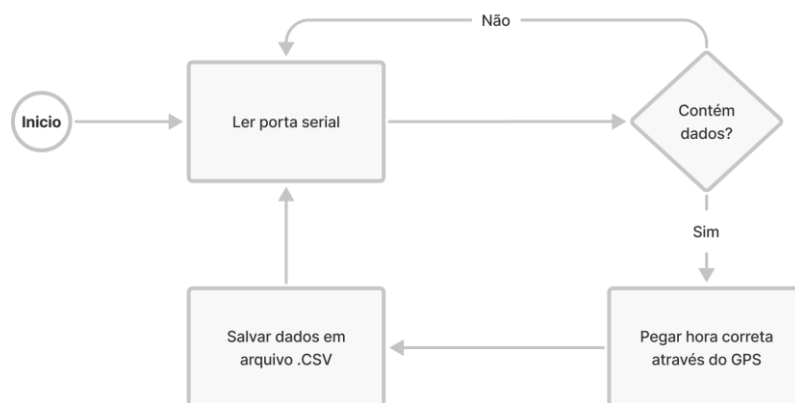
Após a confecção do circuito, a configuração física do *Raspberry Pi* foi finalizada com a confecção de um Modelo 3D, impresso com o uso de Impressora 3D de uma capa de proteção do equipamento (Figura 16).



**FIGURA 16** - Circuito impresso para o módulo GPS, à esquerda. Capa de proteção para o Raspberry Pi, feita em impressora 3D, à direita.

Como os equipamentos cujo *Raspberry* estará responsável pelo monitoramento estão configurados para enviar suas leituras via interface Serial, e não possuem um servidor de hora confiável. Foi realizada a conexão do mesmo aos equipamentos e feita a programação da coleta de dados utilizando linguagem Python, sincronizando os dados enviados na serial com a hora utilizando sistema GPS.

O programa responsável pela coleta (Figura 17) funciona de modo constante, lendo os dados recebidos via interface Serial. Caso receba uma linha vazia, ele volta a esperar dados, repetindo o processo. Caso a linha recebida contenha dados, o programa a salva no final de um arquivo no formato CSV (do inglês, *Comma-Separated Values*), nomeado de acordo com a Data no formato Ano-Mês-Dia + nome do equipamento, como por exemplo "2019-10-20\_Nephelometro.csv".



**FIGURA 17** - Diagrama de Atividades representando o funcionamento do script de coleta e registro de dados da placa Raspberry Pi.

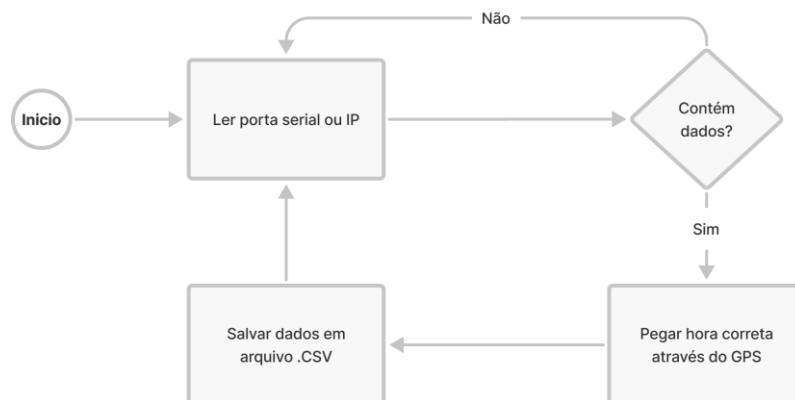
### 3.4.2 Via rede local

Alguns equipamentos CR1000 contém um módulo Ethernet NL120 que permite a conexão do mesmo a rede, graças a esse módulo foi possível coletar os dados destes equipamentos através da rede local.



**FIGURA 18** – Modulo de Ethernet NL120.  
**FONTE:** CAMPBELL SCIENTIFIC, 2014

A estrutura do código para coleta desses dados é semelhante ao visto na Figura 17 acima, porém, também é possível coletar dados através de rede local e não é gerado um arquivo por dia, mas sim um arquivo por equipamento.



**FIGURA 19** - Diagrama de Atividades representando o funcionamento do script de coleta e registro de dados da placa Raspberry Pi.

Essa coleta também pode ser feita remotamente, mas demos preferência a coleta local devido a estabilidade de transmissão dos dados, pois, quando implementado remotamente, muitas vezes a conexão caía e havia perda de dados.

### 3.5 COLETA REMOTA DE DADOS

Para concentração desses dados, desde o início do desenvolvimento, o sistema foi pensado de maneira que fosse facilmente mantido, não sendo necessário a presença de pessoas específicas para a manutenção.

Desta maneira se fez necessário que o sistema fosse instalado em uma máquina de fácil acesso e que pertencesse ao GPFMA. O grupo possui um servidor PowerEdge da DELL, que foi remanejado e instalado na Secretaria de Tecnologia da Informação (STI) da UFMT, local que dispõe de uma ótima infraestrutura, onde conseguimos um domínio, possibilitando acesso externo (gpfma.ufmt.br).

Posteriormente, este servidor acabou queimando, sua placa mãe foi gravemente danificada, e segundo os responsáveis técnicos no STI da UFMT, não seria possível substituí-lo ou concertá-lo, sendo então, desativado. Para continuidade do projeto ele foi migrado para algumas Raspberry Pi, que atua hoje como servidores de dados.

Com a coleta de dados local propriamente configurada, focamos em gerenciar o monitoramento de dados microclimáticos de maneira remota, o primeiro passo então, foi a configuração de métodos para transmissão desses dados, criando um sistema de coleta remota automatizado.

A coleta de dados pode ser realizada de três maneiras, como podemos ver nos tópicos abaixo:

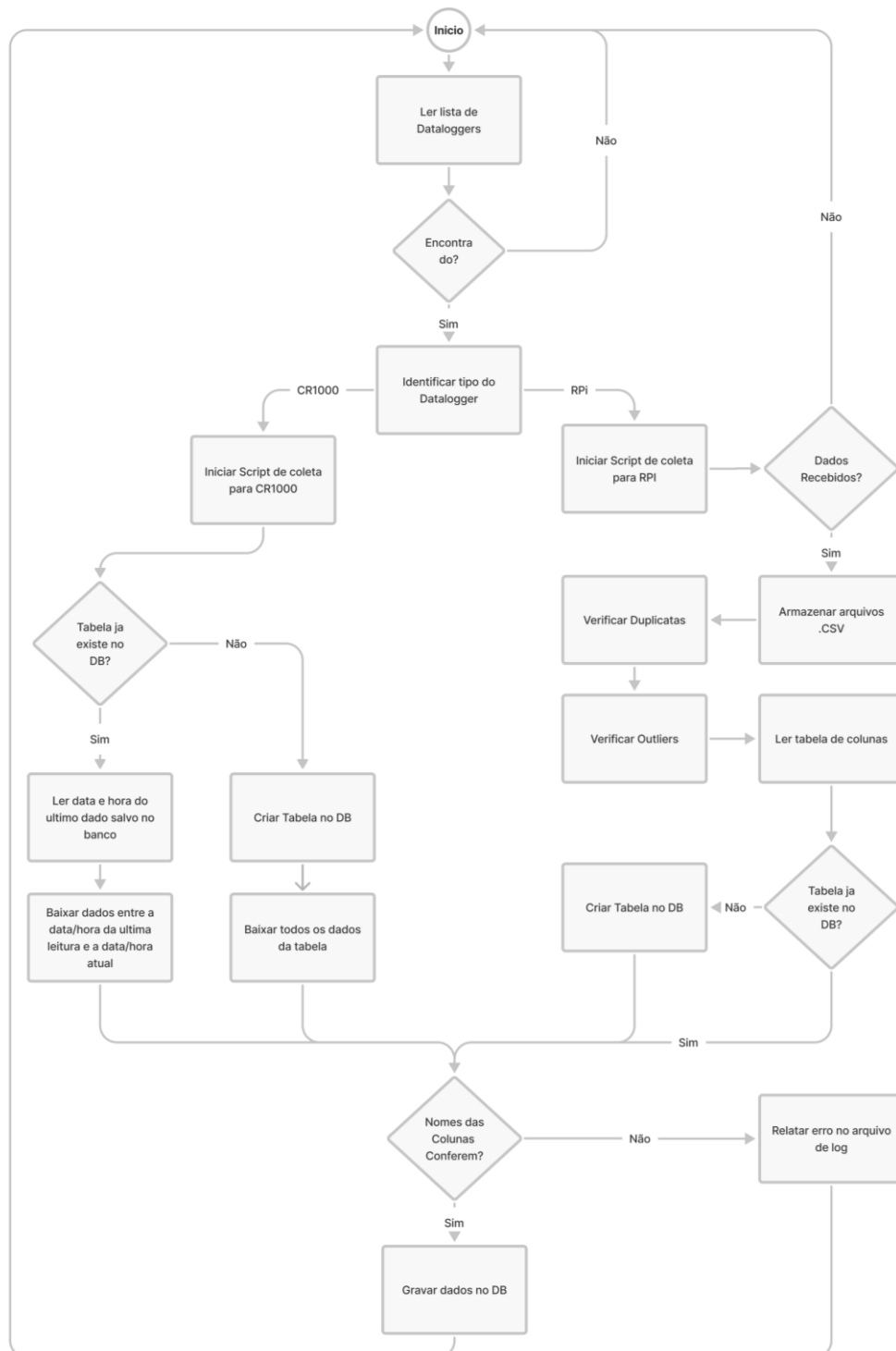
### 3.5.1 Coleta ativa através da internet

Para coleta ativa de dados, o programa usa como base um arquivo no formato CSV. Este arquivo nomeado de “*list\_update.csv*” (Figura 20), contém as informações necessárias para coleta dos dados, como o Tipo de registrador utilizado, um Nome para identificação, qual o ip e a porta de acesso a cada equipamento e qual tabela deve coletar. Estas tabelas são baixadas e armazenadas localmente sendo renomeadas pelos campos *Nome+“\_”+Tabela+“.csv”*.

```
Tipo,Nome,Porta,Tabela
Cr1000,Micromet1,basepantanal.dyndns.org:6021,BdP_Amostras
Cr1000,Micromet2, basepantanal.dyndns.org:6022,Amostras
Cr1000,Base, basepantanal.dyndns.org:6130,Table1
Pi,Perfil, basepantanal.dyndns.org:2103,-
Pi,Nefelometro, basepantanal.dyndns.org:2104,-
Pi,Termoflux, basepantanal.dyndns.org:2105,-
Pi,Neph3c, basepantanal.dyndns.org:2107,-
Cr1000,Eddy, basepantanal.dyndns.org:6004,Flux
```

**FIGURA 20** - Conteúdo do arquivo *update\_list.csv*, responsável pela atualização dos dados

Desta maneira é possível adicionar ou remover equipamentos a lista de download, e o programa fará o restante, seguindo o diagrama de atividades feito em UML (sigla em inglês para Linguagem de Modelagem Unificada) e disponível na Figura 21. A primeira etapa do programa é ler a arquivo “*update\_list.csv*”, isso será realizado a cada ciclo, começando pela primeira linha até que a lista acabe.



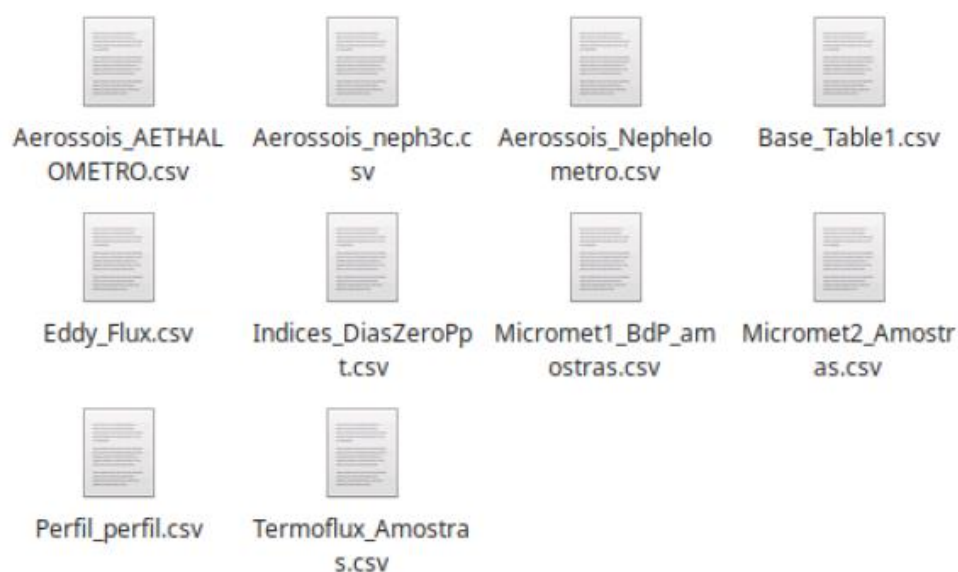
**FIGURA 21** - Diagrama de Atividades representando o funcionamento do Sistema de Monitoramento de Dados Ambientais.

Portanto, de acordo com o diagrama de atividades disponível na Figura 21, e usando a segunda linha da Figura 20 como exemplo, o programa indicará se encontrou

um Datalogger e caso encontrou, identificará com qual tipo de Datalogger estará lidando e qual script de coleta deverá utilizar:

**RPi ou Raspberry:** o script de coleta para RPi utiliza conexão via *Secure Shell* (SSH), a conexão é assegurada usando credenciais de acesso do protocolo *SSH-keys*, que permitem o acesso ao RPi sem a necessidade de senha, então os dados são copiados de cada registrador usando *Secutiry Copy* (SCP) e armazenados no servidor com o seu respectivo nome.

**CR1000:** O script de coleta para CR1000 utiliza a biblioteca *PyCampbellCR1000*, criada por Harrache & Darras (2012), com link disponível nas referências bibliográficas deste trabalho. A biblioteca dispõe de ferramentas que possibilitam a conexão com *Dataloggers* da Campbell utilizando linguagem Python. Os dados são baixados para um arquivo .csv nomeado a partir dos campos “nome” e “tabela”, como pode ser visto na Figura 22.



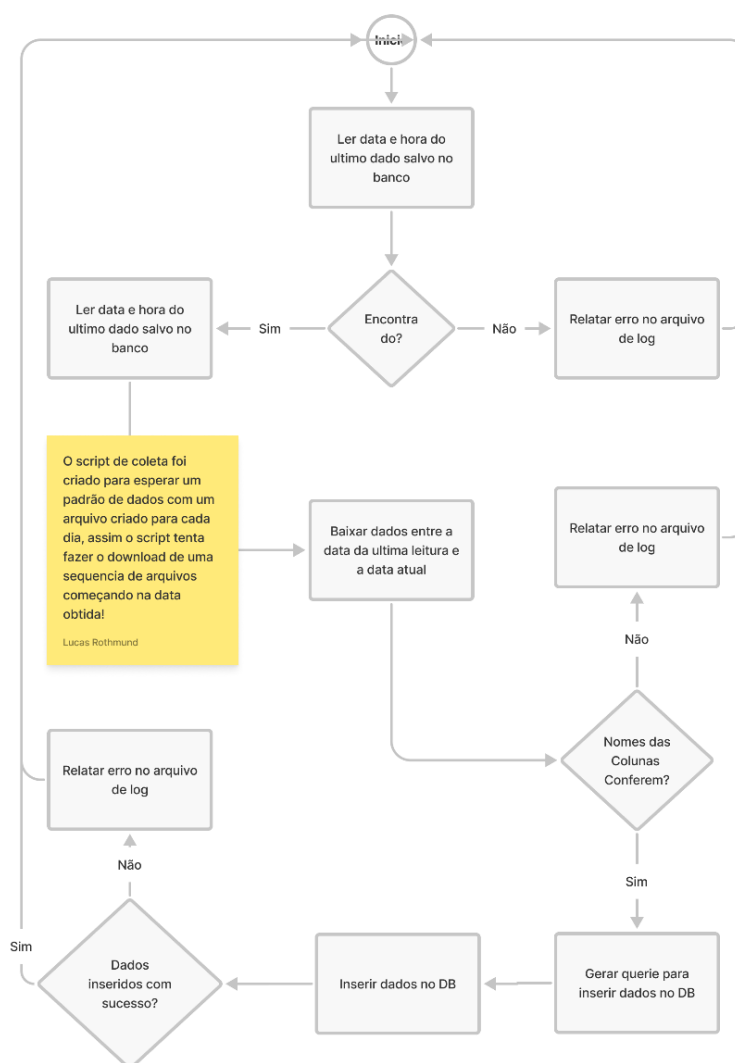
**FIGURA 22** – Arquivos resultantes da coleta primária de dados

### 3.5.2 Passiva através da internet

Com o tempo surgiu a necessidade de coleta “passiva” pois notamos que seria mais simples que os Dataloggers enviassem a informação ao servidor, e não o contrário. Assim, seria necessário apenas que esses equipamentos estivessem conectados à internet e enviassem os dados diretamente para o servidor via *Secutiry Copy (SCP)*.

### 3.5.3 Coleta em outras fontes de dados

A fim de usar fontes externas de dados foi desenvolvido um meio para coletas em sites ou servidores FTP de terceiros que disponibilizem informações, essa forma de coleta segue o formato descrito no fluxograma na Figura 23 abaixo.



**FIGURA 23** – Diagrama de Atividades representando a coleta de dados de fontes externas

### 3.6 PROCESSAMENTO DE DADOS

Com os dados já armazenados no servidor entra em ação a etapa de processamento dos dados, neste ponto é utilizada a biblioteca Pandas, disponível para linguagem Python, ela é uma biblioteca de Código aberto, e projeto patrocinado pela NumFocus (2019).

A biblioteca permite uma análise prévia dos dados, removendo linhas duplicadas e realizando uma filtragem preliminar (Figura 25), removendo dados espúrios, erros de leitura, erros de formato e leituras sem horário, estes erros não são muito comuns, mas geram problemas no momento de inserir estes dados no Banco de Dados MySQL, esses problemas são checados linha a linha no momento que são geradas as queries de inserção de dados.

### 3.7 ARMAZENAMENTO DE DADOS

Com os dados limpos é realizada sua inserção no banco de dados, primeiramente é verificada a existência da tabela no banco de dados, caso ela não exista, será criada. Para criar uma tabela no banco de dados, o sistema usa a coluna “Colunas” no arquivo “*list\_tables.csv*” (Figura 24) para gerar uma *query* de criação de tabela (Figura 26), e as colunas “Nome” e “Tabela” para determinar o nome da Tabela.

```
Tipo,Datalogger,Tabela,Colunas
pi,Termoflux,Amostras,"Datetime,RecNbr,DiffV_3,DiffV_2,DiffV_1,DiffV_7,DiffV_6,DiffV_5,AirT
C_2,DiffV_9,DiffV_8,DiffV_4,T108_C_2,T108_C_3,T108_C_6,T108_C_7,T108_C_4,T108_C_5,T1
08_C_8,T108_C_9,RH,T108_C,T108_C_10,AirTC,RH_2,DiffV_13,DiffV_12,DiffV_11,DiffV_10,Rai
n_mm_Tot"
```

**FIGURA 24** – Exemplo de conteúdo do arquivo *list\_tables.csv*, responsável pelo armazenamento dos nomes das colunas para cada tabela

O sistema é configurado para que, de acordo com o nome do campo, a *Query* de criação (Figura 25) receba determinado tipo de dados. Campos com nome “Datetime”, presentes em todas as tabelas, são considerados com formato “DATETIME(0) NOT NULL PRIMARY KEY”, ou seja, são do tipo Data, chave primaria e não podem ser repetidos.

```

for i in range(len(column)):
    if(str(column[i])=="Datetime"):
        query.append(column[i]+" DATETIME(0) NOT NULL PRIMARY KEY")
    elif(str(column[i][:4])=="Date"):
        query.append(column[i]+" VARCHAR(255)")
    elif(str(column[i][:4])=="Time"):
        query.append(column[i]+" VARCHAR(255)")
    elif(str(column[i][:4])=="Type"):
        query.append(column[i]+" VARCHAR(255)")
    elif(str(column[i][:4])=="Unit"):
        query.append(column[i]+" VARCHAR(255)")
    else:
        query.append(column[i]+" DECIMAL(20,3)")
    if(i != len(column)-1):
        query.append(", ")
query.append(";")
query=query.join(query)
#print(query)
return(nome_tabela, str(query), col)

```

**FIGURA 25** – Código para criar a query para inserção de valores em uma tabela

Já os campos com nome “Type”, “Unit” ou contendo “Date” ou “Time” são padronizados como texto no formato “VARCHAR(255)”, restando somente os dados, considerado como “DECIMAL(20,3)”, ou seja, números com até 20 dígitos e 3 casas decimais.

```

CREATE TABLE Aerossois_Nephelometro (Datetime DATETIME(0) NOT NULL
PRIMARY KEY, Date_Nefe VARCHAR(255), Scat_Coef DECIMAL(20,3), Air_T
emp DECIMAL(20,3), Cell_Temp DECIMAL(20,3), RH DECIMAL(20,3), Press
ure DECIMAL(20,3), Type1 VARCHAR(255), Type2 VARCHAR(255))

```

**FIGURA 26** - Exemplo para uma query para criação de uma tabela

Caso uma tabela já exista, é gerado apenas a *Query* de inserção (Figuras 27 e 28) seguindo os mesmos princípios, porém agora com os valores a serem inseridos, esta *Query* deve ser repetida para cada linha de dados e é o ponto central de trabalho e processamento, podendo consumir horas ao inserir uma tabela que contenha alguns anos de dados.

```

if(data1 > resultado):
    #print(data1)
    sql = "INSERT INTO "+name+" ("+col+") VALUES "
    query=" ("
    cont = 0
    for j in to_read:
        if(cont==0):
            query=query+" "+str(to_read[j][i])+" "
            cont+=1
        else:
            query=query+", "+str(to_read[j][i])+" "
    query = query+"),"
    sql+=query
    sql=sql[:-1]
    #print("\n"+sql+"\n")
    insert(sql)

```

**FIGURA 27** – Código para criar a query para inserção de valores em uma tabela

```

INSERT INTO Aerossois_Nephelometro (Datetime,Date_Nefe,Scat_Coef,Air_Temp,Cell_Temp,RH,Pressure,Type1,Type2) VALUES ('2019-11-25 15:30:19','25_11_2019 14:44:00','2.909','26.577','26.682','55.05','984.427','0','07')

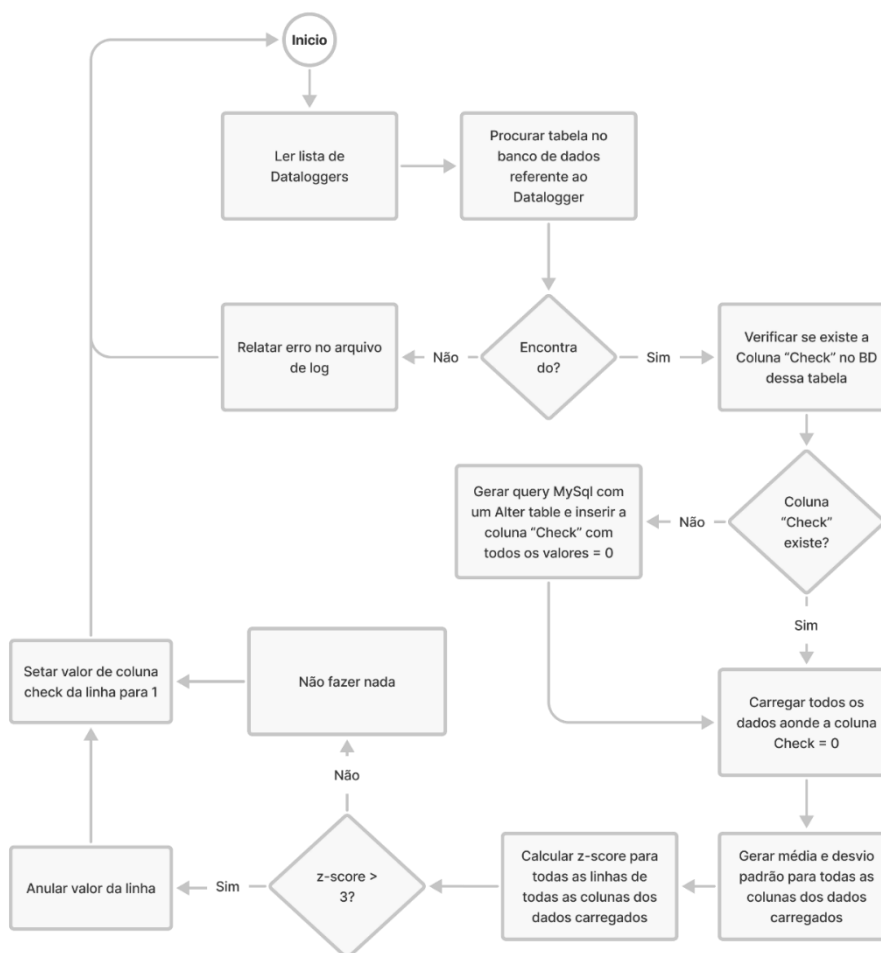
```

**FIGURA 28** - Exemplo de uma query para inserção de valores em uma tabela

Com todos os dados armazenados no Banco de dados, o script passa a ler a segunda linha do arquivo “*table\_list.csv*” e assim por seguinte até finalizar toda a lista de tabelas para inserção.

### 3.8 CHECAGEM DE OUTLIERS

Inicialmente, realizávamos uma checagem de outliers (Figura 29) diretamente no banco de dados, através do método z-score, para isso criamos uma coluna extra chamada “Check”, que indica se aquela linha já foi verificada quando o valor for igual a 1, ou não, quando o valor for igual a zero. Essa opção foi desativada na versão final pois não é interessante limpar os dados quando o objetivo é monitorar falhas nos equipamentos.

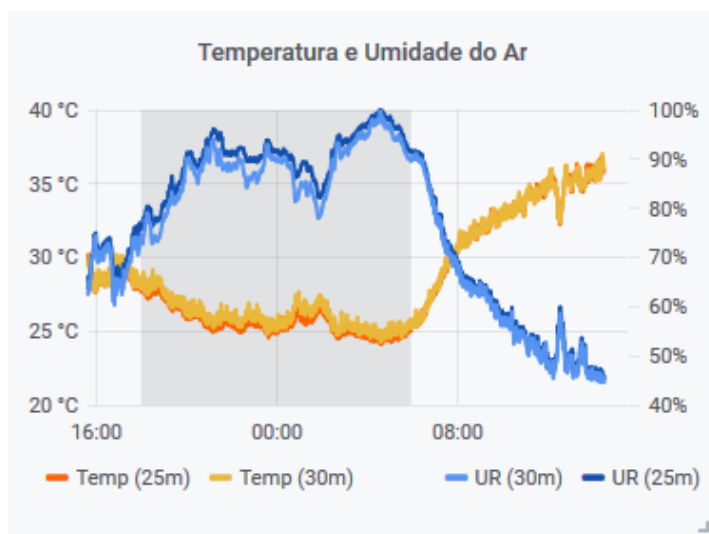


**FIGURA 29** - Exemplo de uma query para inserção de valores em uma tabela

### 3.9 Visualização de dados usando Grafana

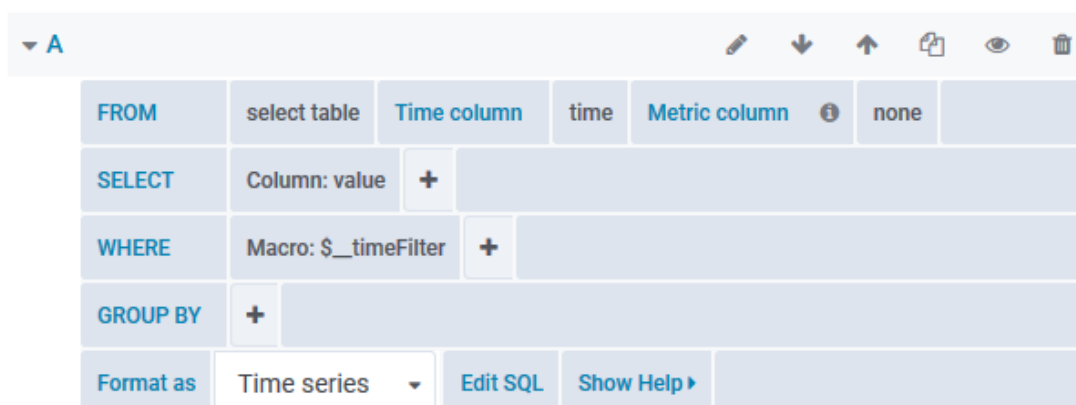
Para a visualização dos dados optamos pela utilização de uma plataforma chamada Grafana. Segundo a OP Services (2019), o Grafana é uma plataforma para visualização e análise de métricas por meio de gráficos dinâmicos. A plataforma possui suporte para diversos tipos de banco de dados, pagos ou gratuitos e pode ser hospedada em qualquer sistema operacional.

Utilizando a plataforma é possível criar *Dashboards* interativos através do seu banco de dados, podendo ser acessados de qualquer plataforma, sendo compatível com a maioria dos smartphones e computadores. Dessa forma, apesar de ser comumente utilizada para monitoramento de servidores, entre outros usos, a ferramenta acabou se tornando extremamente interessante para visualização e monitoramento dos dados ambientais (Figura 30).



**FIGURA 30** - Exemplo de um Painel na plataforma Grafana mostrando a temperatura (eixo principal) e a umidade relativa (eixo secundário)

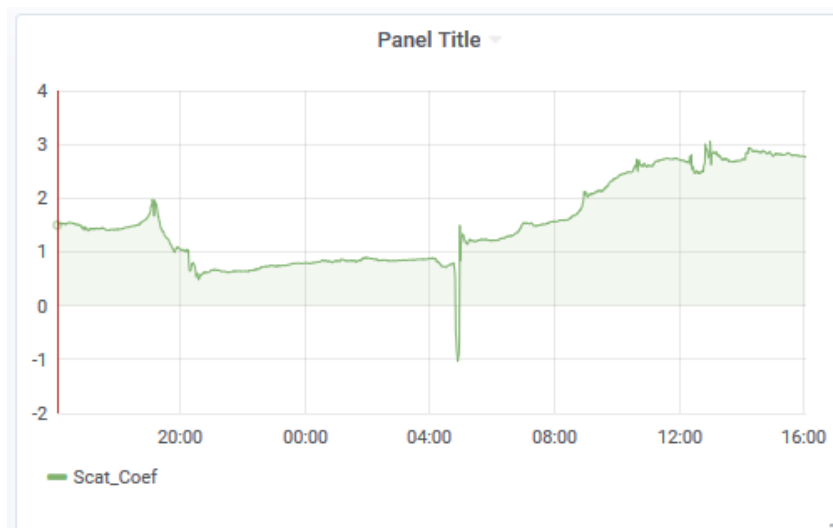
A instalação e configuração do Grafana é descrita na página da ferramenta e não será abordada aqui, o link para o tutorial de instalação se encontra nas referências bibliográficas deste trabalho. Com o Grafana propriamente instalado e configurado, criar Dashboards é simples, basta acessar a página de acesso ao qual ele está configurado, entrar com as credenciais de acesso e ir em “*New Dashboard*”, a ferramenta abrirá um painel e você pode adicionar uma *query* a ele simplesmente selecionando a tabela e a coluna que deseja mostrar neste painel (Figura 31).



**FIGURA 31** - Exemplo de painel vazio

Por exemplo, como pode ser visto na Figura 32, ao selecionar a tabela “Aerossóis\_Nephelometro” presente no Banco de dados já criado na etapa anterior, e

a coluna “Scat\_Coef” instantaneamente nos é mostrado o painel com o gráfico representando esta coluna “Scat\_Coef”.

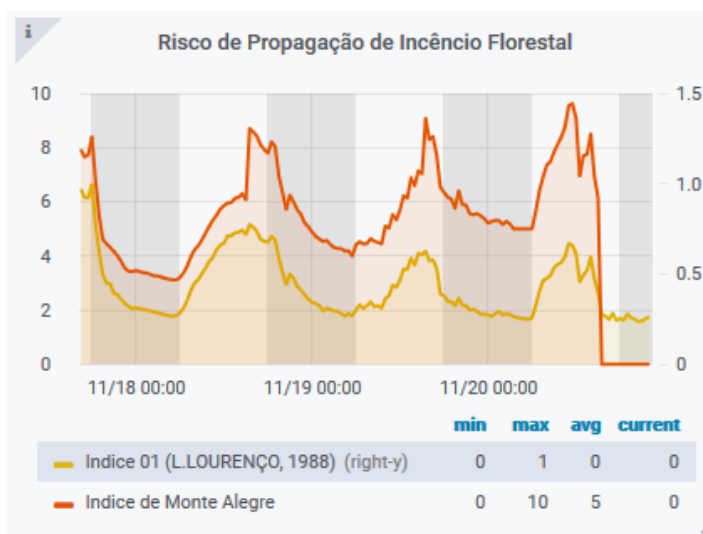


**FIGURA 32** - Demonstração de valores de uma coluna adicionada a um painel

Também é possível editar as *queries* manualmente, podendo realizar operações entre diferentes variáveis, e demonstrar resultados variados, através deste tipo de edição foram estimados índices de incêndio e albedo.

### 3.10 MODELOS DE DADOS

Com os dados propriamente inseridos no sistema, é possível usados para modelar novos índices e informações em tempo real. Por exemplo, as estimativas de Risco de Incêndio, com a disponibilidade de dados praticamente simultâneos passamos a pensar em possibilidades de estimativas para a região, uma das ideias mais interessantes foi a aplicação de um índice de risco de incêndio em tempo real, foi então implementada uma função extra no sistema onde são mostrados os índices de Monte Alegre e Lourenço (Figura 33).



**FIGURA 33** - Índice de Risco de Incêndio horário através dos Índices de Monte Alegre e de Lourenço.

O índice de Monte Alegre, proposto por Soares (1972), possui um cálculo simples onde se deve calcular o IMA para o dia corrente e somar o valor do dia anterior, sendo calculado através da seguinte equação:

$$IMA = (\text{Número de dias sem chuva}) \times \frac{100}{UR} \quad \text{Equação (1)}$$

Os resultados devem passar então, por algumas restrições para que sejam ajustados e, portanto, validados pelo índice:

**QUADRO 01** – Ajustes para o IMA de acordo com a precipitação diária

Precipitação	Restrição
0 ~ 2,5	Nenhuma
2,5 ~ 4,9	$0.7 * FMA_{i-1} + FMA_i$
5,0 ~ 9,9	$0.4 * FMA_{i-1} + FMA_i$
10,0 ~ 12,9	$0.2 * FMA_{i-1} + FMA_i$
> 12,9	$FMA_i = 0$

FONTE: SOARES, 1972

O índice proposto por Lourenço (1996), busca ser mais simplório ao usar apenas os elementos meteorológicos considerados por ele como mais importantes na

eclosão do fogo ao explorar uma relação entre a Temperatura e a Umidade relativa do ar.

$$IRI = \frac{Temperatura}{Umidade\ Relativa} + \frac{100}{Velocidade\ do\ Vento} \quad \text{Equação (2)}$$

Desta maneira, consoante aos valores obtidos, ambos os índices disponibilizam graus de risco escalonados, podemos ver a classificação de risco para o índice de monte alegre no quadro 02 e para o índice de Lourenço no quadro 03.

**QUADRO 02** – Classificação de risco do Índice de Monte Alegre

<b>IMA</b>	<b>Grau de Risco</b>
0 ~ 1,0	Nulo
1,1 ~ 3,0	Pequeno
3,1 ~ 8,0	Médio
8,0 ~ 20,0	Alto
> 20,0	Extremo

FONTE: SOARES, 1972

**QUADRO 03** – Classificação de risco do Índice de Lourenço

<b>IRI</b>	<b>Grau de Risco</b>
0 ~ 0,49	Baixo
0,50 ~ 0,99	Moderado
1,00 ~ 1,49	Alto
1,50 ~ 1,99	Muito Alto
> 2,00	Extremo

FONTE: LOURENÇO, 1996

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CÓDIGO ABERTO

Uma das premissas deste trabalho foi a disponibilização do código fonte na plataforma GitHub para uso e melhorias futuras. O código está disponível no link:

<https://github.com/manno20/Sistema-de-Monitoramento.git>

### 4.2 DISPONIBILIDADE DO SISTEMA

O sistema de Monitoramento da torre Micrometeorológica do Pantanal esteve disponível de abril de 2019 a novembro de 2020 (aproximadamente 17 meses) no link <http://gpfma.ufmt.br/grafana> (Atualmente offline). Sendo então desativado, devido a queima da placa mãe do servidor que era utilizado como base para o sistema. Sendo então replicado como pode ser visto no item 4.2, porém agora, o sistema monitora apenas a torre Micrometeorológica de Sinop desde maio de 2021 (10 meses no momento dessa publicação).

Para que o sistema pudesse ser replicado em uma *Raspberry pi* (Figura 34), foi necessário otimizar a navegação dos arquivos *csv* em *python*, anteriormente como o sistema foi programado em uma máquina poderosa era possível navegar pelos arquivos completamente, quando migramos para a *RPi* foi necessário inserir uma checagem ao banco e filtrar os dados do arquivo *.csv*, navegando apenas pelos arquivos ainda não inseridos no DB.

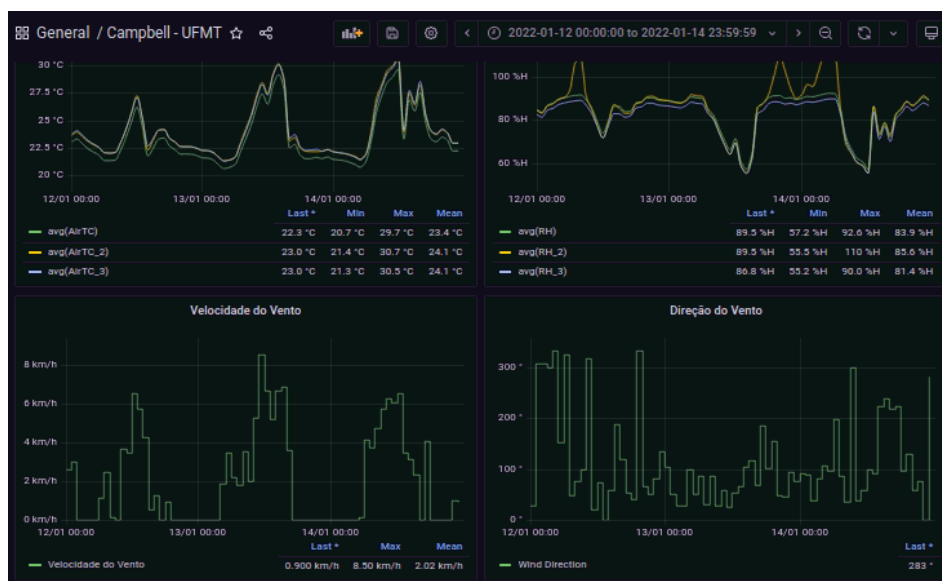
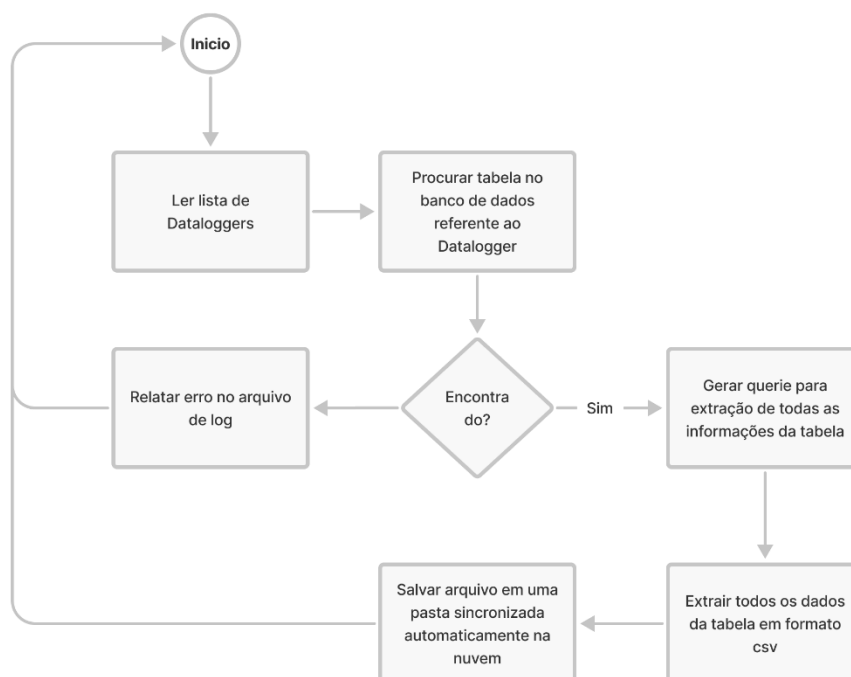


FIGURA 34 - Pagina para monitoramento da torre de Sinop

#### 4.2.1 Backup dos dados

Foi inserido um backup automático de dados via Google drive feito diariamente, a ausência de backup automático se mostrou uma falha presente no sistema anterior, onde a robustez da estrutura do STI e do servidor, fizeram com que essa parte fosse adiada devido a problemas encontrados entre o google drive e o Linux. Isso fez com que o servidor queimasse antes de um sistema de backup ser implementado e alguns dados fossem perdidos.

Como os Dataloggers da Baía das pedras ainda armazenam os dados, foi possível fazer a coleta novamente, porém, foi implementado um meio de extração diário de todas as informações do banco de dados em formato .csv (Figura 35) e então salvar esse arquivo em uma pasta sincronizada com google drive.



**FIGURA 35** - Diagrama de Atividades representando o funcionamento do Backup de dados implementado

#### 4.2.2 Página de monitoramento ambiental da baía das pedras

O principal resultado decorrente deste trabalho foi a página de Monitoramento dos dados e equipamentos da Baía das Pedras, que esteve disponível através do endereço <http://gpfma.ufmt.br/grafana>, como pode ser visto na Figura 36. Esta página continha diversos *Dashboards* criados com o objetivo de auxiliar o monitoramento dos dados e equipamentos.



**FIGURA 36** - Pagina inicial de acesso ao sistema de monitoramento da Baía das Pedras

Os principais *dashboards* eram “Monitoramento” e “Monitoramento\_TV”.

**Monitoramento:** Este Dashboard inclui todos os dados medidos em campo, numa resolução de 30 minutos (Média), sendo subdivididos em Aerossóis, Solo, Micrometeorologia da Torre e Índices Estimados. Foi criado para auxiliar o monitoramento dos equipamentos e suas variáveis de controle interno como Umidade, temperatura, pressão, tensão de baterias e fluxo de ar.

**Monitoramento\_TV:** Este é um *Dashboard* simplificado (Figura 37), com resolução de coleta original (cada equipamento possui uma resolução própria, 1, 5 ou 30 minutos) buscando demonstrar o máximo de variáveis microclimáticas utilizando o menor número possível de painéis. Tem objetivo demonstrativo e de divulgação desses dados em tempo real de maneira a torná-los acessíveis ao público.



FIGURA 37 – Dashboard Monitoramento\_TV

### 4.2.3 Resultados do Monitoramento Ambiental

O monitoramento através da *Webpage* está em funcionamento desde o mês de setembro de 2019 no endereço citado no item 4.1 deste trabalho, e seu uso se mostrou interessante em diversas áreas dentro do grupo de pesquisa.

#### 4.2.3.1 Compreensão da dinâmica de comportamento dos dados ambientais

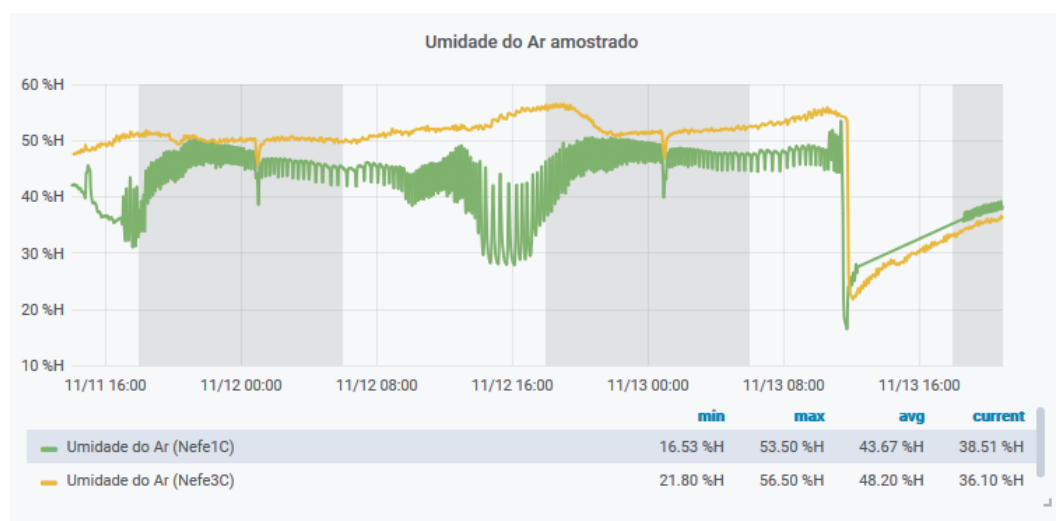
Com o monitoramento ambiental em funcionamento, foi realizada a configuração de uma placa Raspberry Pi com o simples objetivo de exibir a página de monitoramento em uma televisão situada no Laboratório de Instrumentação 02 (Sala 09). Através desta, foi possível tornar estes dados visíveis aos acadêmicos, ajudando na familiarização com os dados exibidos, além de auxiliar a equipe responsável pela manutenção na rápida percepção de problemas e falhas.

#### 4.2.3.2 Frequência de viagens

Devido a sensibilidade a umidade, alguns equipamentos ditam a frequência das viagens para manutenção e principalmente a troca de Sílica Gel presente nos tubos responsáveis pela secagem do ar que passa pelos equipamentos de Aerossóis. Essa necessidade fazia com que as viagens fossem determinadas de maneira periódica, de

acordo com a época do ano, com frequência semanal no período de cheia e quinzenal no período de seca.

A visibilidade dos dados ajudou a gerenciar a frequência dessas viagens, de acordo com o estado deste material, ou seja, as viagens deixaram de ser realizadas de maneira periódica e passaram a ser marcada de acordo com a necessidade, pois, como é possível monitorar a umidade do ar amostrado pelos equipamentos, podemos prever quando será necessária à sua troca (Figura 38).



**FIGURA 38** - Painel presente no sistema de Monitoramento mostrando a umidade do ar amostrado pelos equipamentos

Por segurança, a umidade do ar amostrado deve ser mantida abaixo de 60%, então a frequência de viagens ao local de estudo pôde ser reajustada para cerca de 20~21 dias no período seco, reduzindo o número de viagens. Não foi possível verificar a atual frequência de viagens para o período de cheia até o momento.

#### 4.2.3.3 *Planejamento de Viagens*

Um dos maiores problemas das viagens ao local de estudo eram ocasionados pela falta de informação e aconteciam com certa frequência. Anteriormente, problemas como o mau funcionamento de equipamentos e baterias eram descobertos ao chegar ao local. Esse tipo de problema surpreendia a equipe responsável pela manutenção, pois muitas vezes não possuíam recursos necessários para a correção do problema, seja uma bateria com defeito ou equipamentos queimados.

O monitoramento contribuiu de maneira a tornar possível a percepção de problemas remotamente, seja pela ausência de dados o que normalmente indica um equipamento desligado, comportamento atípico que pode indicar má conexão de sensores.

### **4.3 REPLICABILIDADE E MANUTENÇÃO**

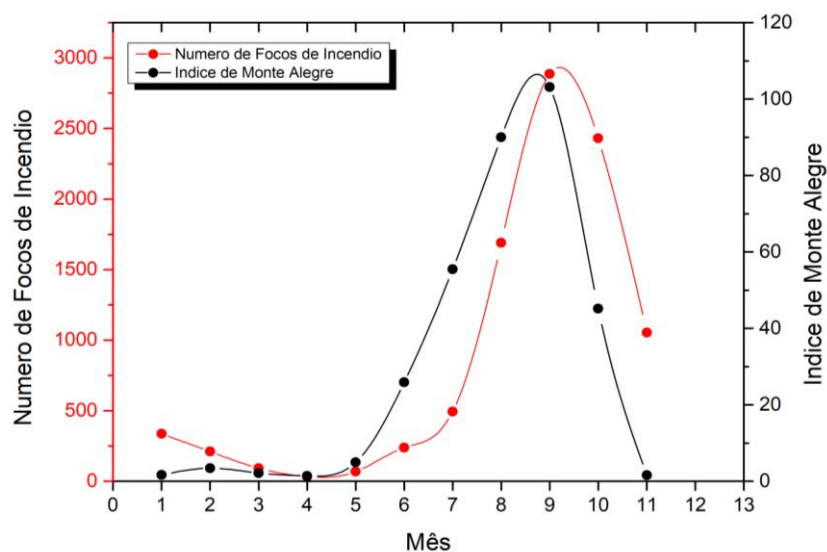
O sistema se mostrou facilmente replicável, porém, implementá-lo ainda exige conhecimentos prévios de linguagem de programação Python, Banco de dados MariaDB e de conhecimento do fluxo de informações usados neste trabalho. Já a manutenção do sistema se mostrou simples, sendo a maior parte dos problemas encontrados devido a fatores externos, entre elas, a principal foi a falta de comunicação com os equipamentos gerada por diversos fatores intrínsecos do trabalho de campo (falta de energia elétrica, queima de equipamentos, desconexão dos cabos de comunicação).

### **4.4 AVALIAÇÃO DE INDICES ADICIONAIS**

#### **4.4.1 Eficácia dos Índices de risco de incêndio**

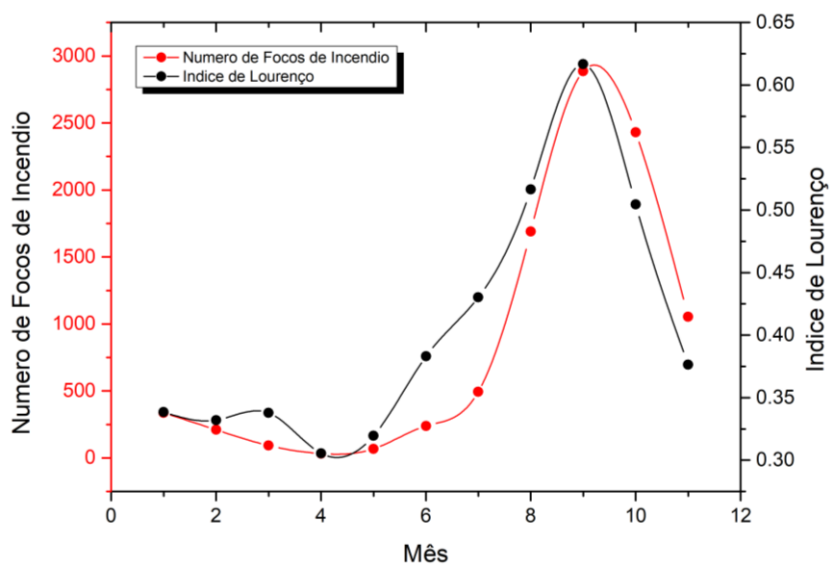
Para avaliar a eficácia do IMA, foi traçada uma relação entre o número mensal de focos de incêndio no Pantanal para este ano e a estimativa de risco de incêndio realizada pelo Índice de Monte Alegre através do sistema de monitoramento e o resultado foi satisfatório.

Como pode ser visto na Figura 39, o IMA tende a crescer nos meses mais secos, porém a resposta do número de focos a este aumento sofre um *delay*, possivelmente devido ao tempo extra que o solo e a vegetação levam para secar se comparados a umidade relativa ar, como o índice não leva em consideração o estado da vegetação, isso possivelmente explicaria este atraso no aumento dos focos de incêndio no Pantanal.



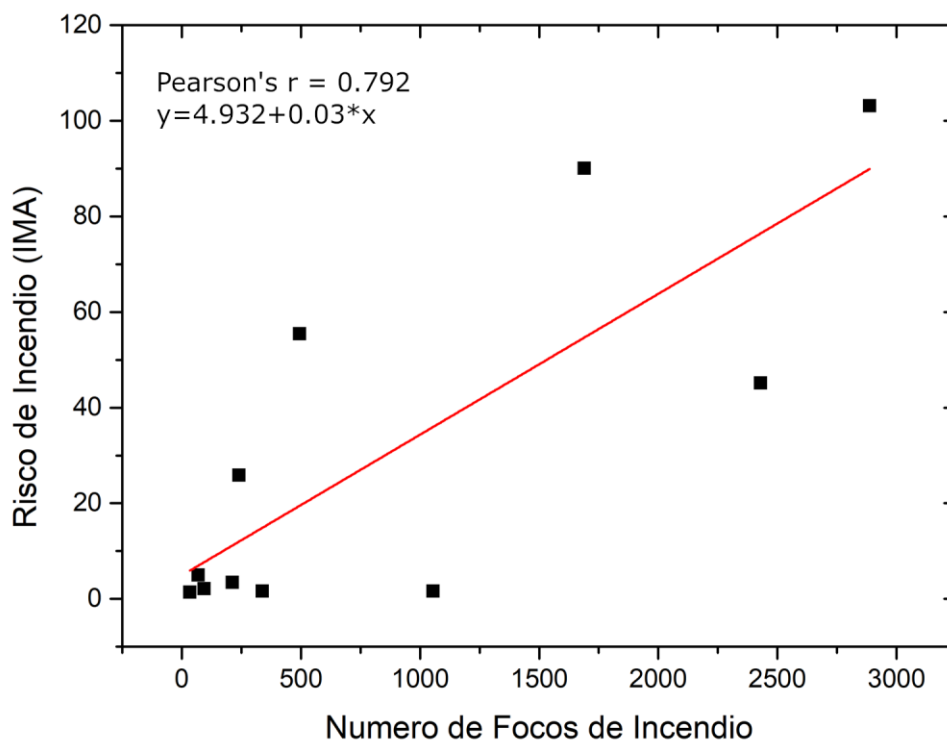
**FIGURA 39** - Número de focos de incêndio versus a média mensal dos valores estimados de índice de risco incêndio obtidos através da Formula de Monte Alegre.

A Figura 40 mostra o comportamento do índice de Lourenço (1988), seguindo a tendência de crescer nos meses mais secos, porém a resposta do número de focos a este aumento sofre menos atraso, porém ainda é visível um certo *delay* entre o índice e as queimadas. Os valores máximos obtidos pelo índice coincidiram com os meses em que houve maior número de queimadas.



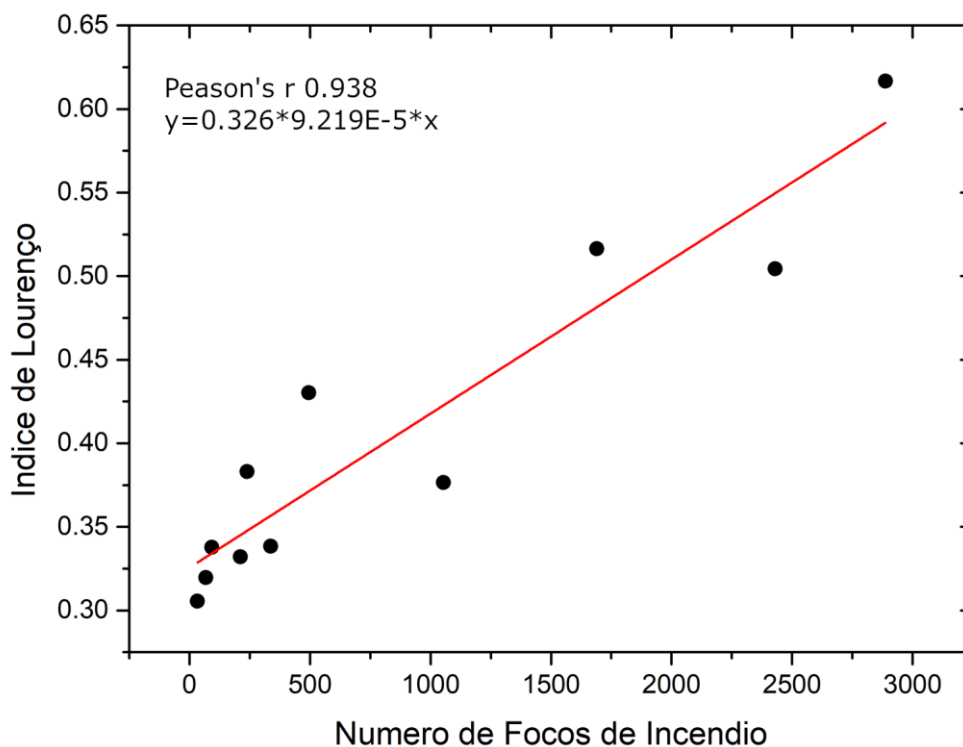
**FIGURA 40** - Número de focos de incêndio versus a média mensal dos valores estimados de índice de risco incêndio obtidos através do Índice de Lourenço

Os dois índices utilizados se mostraram eficazes na determinação de risco de incêndio, porém para analisar qual obteve melhor relação entre suas estimativas de risco e o número de focos observados foi traçada a regressão linear entre os índices e o número de focos de incêndio e o resultado pode ser visto nas Figuras 41 e 42.



**FIGURA 41** - Regressão linear entre o Número de focos de incêndio versus e a média mensal dos valores estimados de índice de risco incêndio obtidos através do Índice de Monte Alegre

O índice de Lourenço (1996), apesar de mais simples, mostrou melhor relação entre a estimativa de risco e o número de focos de incêndio. Porém, os valores observados contrastam com a definição de graus de risco do próprio índice vista no Quadro 02, onde os maiores valores do ano indicam risco Moderado de Incêndio.



**FIGURA 42** - Regressão linear entre o Número de focos de incêndio versus e a média mensal dos valores estimados de índice de risco incêndio obtidos através do Índice de Lourenço

Já o IMA, se manteve em “Risco extremo” entre os meses de junho a outubro, apesar de menor correlação de acordo com Pearson, com um  $R^2$  de 0.79, o índice demonstrou maior capacidade de predição, podemos ver isso através da Figura 39, onde houve tendência de aumento do risco de incêndio vista no mês anterior aos focos ocorrerem, diferente do índice de Lourenço, que, apesar de um  $R^2$  melhor (0.93), basicamente respondeu ao número de focos ocorrido no mês vigente.

## 5 CONCLUSÃO

O sistema se mostrou estável durante o tempo de funcionamento, porém, com a queima do servidor que estava instalado no STI (Serviço de Tecnologia da Informação) gerou diversos problemas devido à dificuldade de substituição do equipamento, assim, notou-se que o uso de equipamentos mais simples, como uma Raspberry Pi para hospedagem de dados, gerou maior replicabilidade nesse quesito.

Após sua implementação, a manutenção do sistema se mostrou simples, porém o processo de implantação exige conhecimento prévio do sistema, sendo complicada e onerosa.

A coleta automática de dados feita pelo sistema se mostrou eficaz, não sendo necessária à coleta de dados *in situ*, fazendo com que o tempo da equipe do GPFMA pudesse ser dispendido em outras tarefas e conseqüentemente redução de custos.

O monitoramento remoto dos equipamentos auxiliou a preparação da equipe responsável pela manutenção dos equipamentos e ajudou numa melhora do planejamento das viagens ao sítio de estudo.

Os índices de risco de incêndio estimados através da plataforma demonstraram boa relação com o número de focos de incêndio observados no ano vigente.

## **6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Simplificação do sistema em formato de biblioteca, para facilitar o uso;
- Desenvolvimento de uma página para extração dos dados ambientais para o uso da comunidade acadêmica do GPFMA;
- Aplicação de novos e variados índices que podem auxiliar em diversas atividades;
- Confecção de um Manual de usuário, para que seja possível a manutenção do sistema em caso de mudança de responsável;
- Junção de diferentes dissertações e teses do programa em um único sistema integrado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAFRUIT. **Raspberry Pi: About Us**. Disponível em: < <https://www.raspberrypi.org/about/> >. Acesso em: 18 de novembro de 2019.

AGENCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Dados ambientais**. Disponível em: < <http://www.aeb.gov.br/servicos/dados-ambientais/> >. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

AIR PHOTON. **Basic Integrating Nephelometer (IN101) Fact Sheet**. 2014. Disponível em: < [https://www.airphoton.com/uploads/7/6/0/6/76064899/in101\\_fact\\_sheet.pdf](https://www.airphoton.com/uploads/7/6/0/6/76064899/in101_fact_sheet.pdf) >. Acesso em: 24 de novembro de 2019.

ARIEIRA, J., & Cunha, C. D. (2006). **Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil**. Acta Botanica Brasilica, 20(3), 569-580.

BARBOSA DE OLIVEIRA, Lúcio Gonçalves. **Análise do sistema de coleta simultânea do perfil vertical de CO<sub>2</sub> no Pantanal mato-grossense / Lúcio Gonçalves Barbosa de Oliveira**. – 2018 76 f.

BASSO MARQUES, João. **Desenvolvimento de sistema para monitoramento e aquisição de dados microclimáticos utilizando o programa EPICS / João Basso Marques**. – 2016 69 f.

BEIRIGO, R. M., VIDAL TORRADO, P., Stape, J. L., & Andrade, G. R. P. (2011). **Solos da reserva particular do patrimônio natural SESC Pantanal**. Rio de Janeiro: SESC, 176.

BIUDES, M. S., NOGUEIRA, J. D. S., DALMAGRO, H. J., Machado, N. G., Danelichen, V. H. M., & Souza, M. C. (2012). **Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal**. Revista de Ciências Agro-Ambientais, 10(1), 61-68.

CAMERINI, N. L., MENDES, L. B., MOTA, J., NASCIMENTO, J., & FURTADO, D. **Avaliação de instrumentos agrometeorológicos alternativos para o monitoramento da ambiência em galpões avícolas**. Engenharia na Agricultura, 19, 125-131. (2011).

CAMPBELL. **CR1000: Measurement and Control Datalogger**. 2018. Disponível em: < <https://www.campbellsci.com.br/cr1000> >. Acesso em: 20 de novembro de 2018.

CAMPBELL. **LI190SB-L: Overview.** 2015. Disponível em: < <https://www.campbellsci.com.br/li190sb-l> >. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

CAMPBELL. **LI200S-L: Overview.** 1996. Disponível em: < <https://www.campbellsci.com.br/li200s-l> >. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

CORDEIRO, José Luís Passos. **Estrutura e heterogeneidade da paisagem de uma unidade de conservação no nordeste do Pantanal (RPPN SESC Pantanal), Mato Grosso, Brasil: efeitos sobre a distribuição e densidade de antas (*Tapirus terrestris*) e de cervos-do-pantanal (*Blastocerus dichotomus*).** 2004.

DA SILVA, K. O., Moraes, S. O., Miranda, J. H., & Palmieri, A. M. (2007). **Sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar.** Engenharia Agrícola, 27(3), 630-638.

DALMAGRO, H. J., LATHUILLIÈRE, M. J., HAWTHORNE, I., MORAIS, D. D., PINTO JR, O. B., COUTO, E. G., & JOHNSON, M. S. (2018). **Carbon biogeochemistry of a flooded Pantanal forest over three annual flood cycles.** Biogeochemistry, 139(1), 1-18.

DEPPE, Flavio et al. **Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no estado do Paraná.** Floresta, v. 34, n. 2, 2004.

ECOTECH. **Aurora 1000 Single Wavelength Integrating Nephelometer: User Manual.** Version: 1.5. 2013. Disponível em: < <https://www.ecotech.com/wp-content/uploads/2015/10/M010001-Aurora-1000-User-Manual-Rev-1.5.pdf> >. Acesso em: 24 de novembro de 2019.

GILL INSTRUMENTS. **Ultrasonic Anemometer: User Manual.** 1405-PS-0019. 2015. Disponível em: < <http://gillinstruments.com/data/manuals/windsonic-manual.pdf?iss=22.20151201> >. Acesso em: 20 de novembro de 2019

GIRARD, P.; FANTIN-CRUZ, I.; OLIVEIRA, S. M. L. D.; HAMILTON, S. K. **Small-scale spatial variation of inundation dynamics in a floodplain of the Pantanal (brazil).** Hydrobiologia, Springer, v. 638, n. 1, p. 223–233, 2010.

GRAFANA. **Installing on Debian/Ubuntu.** Disponível em: < <https://grafana.com/docs/installation/debian/> >. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

HARRACHE, S., Darras, L. (2012). **PyCampbellCR1000. Communication tools for Campbell CR1000-type Dataloggers (version 0.4)** [software]. Disponível em: < <https://pypi.python.org/pypi/PyCampbellCR1000> >. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

HELAL, Alan Afif et al. EstAcqua: **Proposta de solução integrada de Hardware, Software e Internet das Coisas para monitoramento ambiental**. In: Anais do XLV Seminário Integrado de Software e Hardware. SBC, 2018.

JORGE, R. S. P. **Caracterização do estado sanitário dos carnívoros selvagens da RPPN SESC Pantanal e de animais domésticos da região**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

JUNK, Wolfgang J. **Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change**. Aquatic Sciences, v. 75, n. 1, p. 113-131, 2013.

LIMA, R. S., dos Santos, V. B., Guerreiro, T. B., de Araújo, M. C. U., & da Nóbrega Gaião, E. (2011). **UM SISTEMA MICROCONTROLADO PARA O MONITORAMENTO ON-LINE, IN SITU E REMOTO DE pH, CONDUTIVIDADE E TEMPERATURA DE ÁGUAS**. Quim. Nova, 34(1), 135-139.

LIMA, Mayara Barbosa et al. Aspectos Sazonais de um Índice de Risco de Incêndios Florestais na Região Norte do Brasil por Meio de Dados Meteorológicos. Biodiversidade Brasileira-BioBrasil, v. 11, n. 4, p. 46-59, 2021.

LOURENÇO, L. **Risco de Incêndio**. Encontro Pedagógico sobre Fogos Florestais, ASEPIF, 1996, p. 56-61.

MAGEE SCIENTIFIC. **Aethalometer® Portable Aethalometer Model AE42: Product Specifications**. 2010. Disponível em: < [https://mageesci.com/wp-content/uploads/2018/01/Magee-Scientific-Aethalometer-AE42\\_brochure\\_sheet\\_A4.pdf](https://mageesci.com/wp-content/uploads/2018/01/Magee-Scientific-Aethalometer-AE42_brochure_sheet_A4.pdf) >. Acesso em: 24 de novembro de 2019.

NOGUEIRA, F. **Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD**. 2002. In Conhecendo o Pantanal. Várzea Grande, MT, Brasil. p. 33-38. Divulgação de Pesquisa, no. 1.

NUMFOCUS, **Pandas. Python Data Analysis Library**. Disponível em: < <https://pandas.pydata.org/index.html> >. Acesso em: 18 de novembro de 2019.

OMNI INSTRUMENTS. **CNR4 Net Radiometer: Overview**. 2018. Disponível em: < <https://www.omniinstruments.co.uk/cnr4-net-radiometer.html> >. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

OPENSERVICES. **O que é e como funciona o Grafana?** Disponível em: < <https://www.opservices.com.br/grafana/> >. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

PADOVANI, Carlos Roberto. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PARK, Edward, and Edgardo M. Latrubesse. "**The hydro-geomorphologic complexity of the lower Amazon River floodplain and hydrological connectivity assessed by remote sensing and field control.**" *Remote Sensing of Environment* 198 (2017): 321-332.

PRANCE, G. T., & Schaller, G. B. (1982). **Preliminary study of some vegetation types of Pantanal, Mato Grosso, Brazil**. *Brittonia*, 34(2), 228-251.

RAMOS, Carlos Filipe Vicente dos. **Sistema de automatização para agricultura de precisão**. 2019. Tese de Doutorado.

SAMPAIO, Adriano et al. **Utilização de sensores no ensino das ciências**. 2011.

SANCHES, L., de Carvalho Alves, M., Júnior, J. H. C., de Souza Nogueira, J., & Dalmagro, H. J. (2010). **Estimativa do coeficiente Priestley-Taylor em floresta monodominante cambarazal no Pantanal**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(4).

SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil**. Turrialba, Costa Rica, CATIE/IICA,. 72 p. (Tese de Mestrado). 1972.

THERMO SCIENTIFIC. **Model 5012 Instruction Manual. 2009**. Disponível em: <<http://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/EPM-manual-Model%205012%20MAAP.pdf>>. Acesso em: 24 de novembro de 2019.

VAISALLA. **HMP45: User Guide**. Disponível em: <<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/HMP45AD-User-Guide-U274EN.pdf>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019