

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

**ANÁLISE DO SISTEMA DE COLETA SIMULTÂNEA
DO PERFIL VERTICAL DE CO₂ NO PANTANAL
MATO-GROSSENSE**

LÚCIO GONÇALVES BARBOSA DE OLIVEIRA

**PROF. DR. PAULO HENRIQUE ZANELLA DE ARRUDA
Orientador**

**PROF. DR. GEORGE LOUIS VOURLITIS
Coorientador**

**Cuiabá, MT
Setembro de 2018**

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

**ANÁLISE DO SISTEMA DE COLETA SIMULTÂNEA
DO PERFIL VERTICAL DE CO₂ NO PANTANAL
MATO-GROSSENSE**

LÚCIO GONÇALVES BARBOSA DE OLIVEIRA

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. PAULO HENRIQUE ZANELLA DE ARRUDA
Orientador**

**PROF. DR. GEORGE LOUIS VOURLITIS
Coorientador**

**Cuiabá, MT
Setembro de 2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

B238a Barbosa de Oliviera, Lúcio Gonçalves.
ANÁLISE DO SISTEMA DE COLETA SIMULTÂNEA DO PERFIL
VERTICAL DE CO₂ NO PANTANAL MATO-GROSSENSE / Lúcio Gonçalves
Barbosa de Oliviera. -- 2018
76 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Paulo Henrique Zanella de Arruda.
Co-orientador: George Louis Vourlitis.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Balanço de carbono. 2. Estoque de CO₂. 3. Perfil vertical de CO₂. 4.
Instrumentação alternativa. 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.

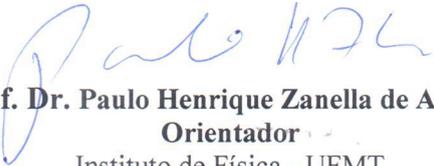
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ANÁLISE DO SISTEMA DE COLETA SIMULTÂNEA DO
PERFIL VERTICAL DE CO₂ NO PANTANAL MATO-
GROSSENSE

AUTOR: LÚCIO GONÇALVES BARBOSA DE OLIVEIRA

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 14 de setembro de 2018, pela comissão julgadora:

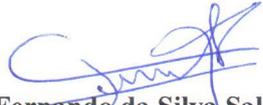

Prof. Dr. Paulo Henrique Zanella de Arruda
Orientador
Instituto de Física - UFMT


Prof. Dr. George Louis Vourlitis
Coorientador
California State University, San Marcos/CA/EUA


Prof. Dr. João Basso Marques
Examinador Interno
Programa Nacional de Pós-Doutorado - CAPES


Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios
Examinador Interno
Programa Nacional de Pós-Doutorado - CAPES


Prof. Dr. Higo José Dalmagro
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá - UNIC


Prof. Dr. Fernando da Silva Sallo
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá - UNIC

DEDICATÓRIA

Deus pela oportunidade de vida, a minha esposa
Ariane pelo amor e compreensão, ao meu filho
Davi e aos meus pais Aderbal e Lúcia e irmão,
Manoel, pelo amor, oportunidades e sacrifícios.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente a DEUS, o autor e consumidor de todas as coisas; à minha esposa Ariane, pelo apoio incondicional em todos os momentos.
- Ao Prof. Dr. PAULO HENRIQUE ZANELLA DE ARRUDA, pela paciência, dedicação, orientação e principalmente pela confiança a mim depositada, fatores que julgo indispensáveis à realização deste trabalho.
- Ao Prof. Dr. JOSE DE SOUZA NOGUEIRA, pelo enorme esforço a frente do Programa de Mestrado e Doutorado; transformando o programa em um ambiente inspirador, por proporcionar eventos que jamais sairão da minha memória instantes ímpares e que trouxeram, alegria, conhecimento e conforto.
- A todos(as) os(as) professores(ras) do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, onde transmitiram seus conhecimentos brilhantemente.
- Aos colegas do programa, João Basso, Lucas Douglas, Rafael Palácio, Leone Curado, Raphael Pires, Fernando Sallo e Higo Dalmagro, que sempre colaborou nos desenvolvimentos experimentais, pelas sugestões e contribuição na elaboração deste trabalho. sempre presente quando preciso, e a todos os outros colegas, meu muito obrigado.
- Ao(s) Técnico(s) Geraldo, Cesário e Soilce, pelo apoio e por serem sempre prestativos, pelo grande trabalho feito para o bom andamento deste curso de graduação.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa: Estudo da relação entre a variação da concentração de CO₂ e variáveis micrometeorológica no Pantanal Mato-grossense, processo nº 407998/2016-0

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XVI
RESUMO	18
ABSTRACT	19
INTRODUÇÃO	20
1.1. OBJETIVO GERAL	21
1.1.2. Objetivos Específicos:.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1. O PANTANAL	23
2.2. CICLO CARBÔNICO (C).....	24
2.3. TROCA LIQUIDA DE CARBONO DO ECOSISTEMA.....	28
2.4. MÉTODOS PARA ANÁLISE DE PERFIL DE CO ₂	32
2.5. INSTRUMENTAÇÃO ALTERNATIVA.....	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1. A TORRE MICROMETEOROLÓGICA	37
3.2. ALTERAÇÃO NO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO ₂	39
3.2.1. ALTERAÇÃO DE ARQUITETURA.....	42
3.2.2. ALTERAÇÃO DE SOFTWARE.....	43
3.2.3. INTERVALO DE MEDIDA	45
3.2.4. AFERIÇÃO DE PARÂMETROS E CALIBRAÇÃO DO SENSOR	47
3.3. ATUALIZAÇÃO DE COMPONENTES DO INSTRUMENTO APRIMORADO DE ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO ₂	48
3.3.1. ATUALIZAÇÃO DE ARQUITETURA	51
3.3.2. ATUALIZAÇÃO DE SOFTWARE	52
3.3.3. ATUALIZAÇÃO DO INTERVALO DE MEDIDA	52
3.4. DADOS UTILIZADOS	52
3.4.1. ESTOQUE DE CO ₂ NO DOSSEL	52
3.4.2. ANÁLISE DO DIA MÉDIO DO MÊS.....	53
3.5. EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO DE DADOS	54

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1. NOVO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO ₂	55
4.2. ATUALIZAÇÃO De COMPONENTES	55
4.3. DADOS MICROMETEOROLÓGICO	56
4.4. ANÁLISE DO PERFIL	57
4.5. ESTOQUE DE CO ₂ NO DOSSEL.....	62
4.6. EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO DE DADOS	63
4.6.1. INSTRUMENTO DE ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO ₂ (OLIVEIRA, 2016).....	63
4.6.2. NOVO INSTRUMENTO ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO ₂	64
5. CONCLUSÕES.....	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
APÊNDICE A	78
APÊNDICE B	79
APÊNDICE C	80
APÊNDICE D	82
APÊNDICE E	83
APÊNDICE F	84

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Ciclo do carbono no ecossistema terrestre.	26
FIGURA 2 – Representação de um ecossistema, na qual a troca líquida de CO ₂ (NEE) é resultado da interação entre o fluxo vertical e o estoque de CO ₂	27
FIGURA 3 - Equipamento comercial para análise de estoque de carbono no dossel. Sistema AP200 - Campbell Scientific, Inc (Copyright © 2012 - 2014)	33
FIGURA 4 - Mapa área de estudo.	36
FIGURA 5 : Torre micro meteorológica do Pantanal. No canto superior esquerdo em destaque os sensores de umidade relativa e temperatura, no canto superior direito estão os anemômetros e a vista lateral da torre. Ao centro, a plataforma de operação no canto inferior direito é a base da torre onde então instalados os sensores de monitoramento do solo.	37
FIGURA 6 - Diagrama elétrico do sistema de controle. 1- Modulo relé; 2 Raspberry Pi3; RTC DS3231 e Conector USB LICOR- 840A.	41
FIGURA 7 : Arranjo atualizado do Instrumento de análise de perfil vertical de CO ₂ . Em azul, representa o abrigo com os equipamentos eletromecânicos (válvulas solenoides, bombas de diafragma e manifold). Em verde, os componentes eletrônicos (Li-Cor 840A e Raspberry Pi3).....	42
FIGURA 8 - Algoritmo do software de controle e armazenamento de dados Em Azul ocorre apenas no cron. Em rosa, o shlle script que coordena os executáveis em Python. .	44
FIGURA 9 : À direita a conexão lisa de engate direto. À esquerda a conexão de engate rápido.	48
FIGURA 10 - Diagrama elétrico do sistema de controle. 1- Modulo rele; 2 Raspberry pi3;GPS e Conector USB LICOR- 840A.....	50
FIGURA 11 - Novo arranjo do instrumento de analise de perfil vertical de CO ₂ . No lado esquerdo o quadrado em azul representa o abrigo contendo: analisador de gás (LI-840A); datalogger (microcomputador – Raspberry P13); GPS (sparkfun); manifold; válvulas solenoides; rotâmetro; filtro e as mangueiras.....	51
FIGURA 12 - Representação o dossel do pantanal. Z é a distancia [m] até o solo; X e a concentração de CO ₂ [ppm] na altura Z.	53
FIGURA 13 : Novo Instrumento De Análise de Perfil Vertical de CO ₂ À esquerda o abrigo com os componentes eletrônicos e a direita o abricó dos componentes eletromecânicos.....	55
FIGURA 14 - Atualização do Instrumento de Análise de Perfil Vertical De CO ₂ . À esquerda abrigo com os componentes eletrônicos, manifold, válvulas solenoides. À direita o conjunto de bombas de vácuo.	56

FIGURA 15 - Perfil vertical do CO ₂ . No fundo em verde o solo encontra-se anaeróbico o restante é aeróbico. Altura 01: 1.05m; Altura 02: 3.35m; Altura 03: 7.35m e Altura 04: 18.34m.	59
FIGURA 16 - Perfil vertical médio para os anos de 2016 e 2017 separados entre as estações anaeróbica e aeróbica.....	60
FIGURA 17 - Comportamento do perfil vertical de CO ₂ . Cada gráfico é composto por 02 dias de dados do perfil composto por 04 alturas, a cada 30 minutos. O primeiro é entre os dias 18 e 19 de março - estação Anaeróbica 2016. O segundo de 22 a 23 de agosto - estação aeróbica 2016. O terceiro de 01 a 02 de abril – estação anaeróbica 2017. E o quarto de 19 a 20 de agosto - estação aeróbica 2017.	61
FIGURA 18 - Superior: Médias mensais de 30 minutos mensais do Estoque de CO ₂ nos períodos de solo anaeróbico e aeróbico para os anos de 2016 e 2017. Inferior: Médias mensais de 30 minutos mensais do estoque de CO ₂ para os anos de 2016 e 2017.	62

RESUMO

OLIVEIRA, L. G. B. **Atualização no instrumento de coleta simultânea do perfil vertical CO₂ instalado em floresta sazonalmente inundada no pantanal mato-grossense.** Cuiabá, 2018, 76f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Alterações nos níveis atmosféricos de dióxido de carbono nos últimos 200 anos podem afetar os biomas de áreas úmidas, gerando incertezas climáticas. No entanto é preciso aprimorar os estudos que contribuem para o entendimento do balanço global de carbono. Desta forma, utilizar apenas o sistema de covariância dos vórtices turbulentos nesses estudos pode levar a interpretações erradas de atividades biológicas do ecossistema florestal. Este trabalho visa aprimorar o instrumento coleta simultâneo do perfil vertical de CO₂ bem como calcular o componente S da troca líquida de CO₂ do ecossistema. A alteração mais importante foi a troca do sistema datalogger, bem como a separação dos componentes eletrônicos dos eletromecânicos. O conjunto de dados utilizados abrangem os anos de 2016 e 2017. O estoque no dossel foi calculado considerando o ponto abaixo a 1,05 m e o mais alto a 18,30 m. O novo instrumento de perfil de CO₂ resultou em um sistema modular e seus componentes não necessitaram de serem unidos com solda. Os maiores valores de concentração de CO₂ foram obtidos para os meses em que se iniciaram as precipitações. O perfil vertical de CO₂ apresenta maior concentração de CO₂ durante a noite com valores máximos próximos à superfície. Em geral, o estoque de CO₂ no dossel (S) apresenta um pico negativo durante as primeiras horas da manhã diminuindo até o final da tarde. A alteração e as atualizações no instrumento de análise de perfil vertical de CO₂ além de diminuir o custo do instrumento elevou a eficiência dos dados produzidos. E o estoque de CO₂ no dossel corrobora a estudos realizados em áreas úmidas.

Palavras chave: Balanço de Carbono, Estoque CO₂, Perfil vertical de CO₂, Instrumentação Alternativa, Raspberry Pi3.

ABSTRACT

OLIVEIRA, L. G. B. **Update on the instrument of simultaneous collection of the vertical profile CO₂ installed in seasonally flooded forest in the Mato Grosso marsh.** Cuiabá, 2018, 76f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Changes in atmospheric levels of carbon dioxide in the last 200 years can affect the biomes of wetlands, generating climate uncertainties. However, studies that contribute to the understanding of the global carbon balance need to be improved. Then, using only the covariance system of turbulent vortices in these studies can lead to misinterpretations of biological activities of the forest ecosystem. This work aims to improve the instrument simultaneously collecting the vertical profile of CO₂ as well as to calculate the S component of the net CO₂ exchange of the ecosystem. The most important change was the exchange of the datalogger system, as well as the separation of the electronic components from the electromechanical ones. The dataset used covers the years 2016 and 2017. The canopy stock was calculated considering the below point at 1.05 m and the highest at 18.30 m. The new CO₂ profiling instrument resulted in a modular system and its components did not need to be welded together. The highest values of CO₂ concentration were obtained for the months in which the precipitations started. The vertical profile of CO₂ presents higher concentration of CO₂ at night with maximum values close to the surface. In general, the CO₂ storage in the canopy (S) shows a negative peak during the first hours of the morning decreasing until the end of the afternoon. The change and updates in the instrument of analysis of vertical profile of CO₂ besides reducing the cost of the instrument increased the efficiency of the produced data. And the CO₂ storage in the canopy corroborates studies in wetlands.

Keywords: Carbon Balance, CO₂ storage, Vertical CO₂ Profile, Alternative Instrumentation, Raspberry Pi3.

INTRODUÇÃO

A atmosfera da Terra é composta basicamente por nitrogênio, oxigênio, argônio e gases traços: vapor de água, o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso e o ozônio. O equilíbrio da atmosfera é fator essencial para a vida no planeta e alterar a concentração de seus gases constituintes produz um aumento de incertezas sobre o futuro de diversos setores da biodiversidade do planeta.

O aumento dos níveis atmosféricos de dióxido de carbono nos últimos 200 anos, gera preocupações em relação às possíveis consequências climáticas. As concentrações de CO₂ na atmosfera passaram de 272 ppm na era pré-industrial para 346 ppm em 1986 excedendo o limite simbólico de 400 ppm em 2015.

Em concentrações normais, o CO₂ é primordial para o metabolismo das plantas e o equilíbrio climático global. Pesquisas constataram que algumas plantas, estimuladas por altas concentrações de CO₂, têm dado respostas positivas (variando de acordo com o processo fotossintético a que estão ligadas) de aumento de produtividade vegetal. Dessa forma, o aumento dos níveis de CO₂ poderá acarretar um desequilíbrio entre as espécies, fortalecendo as que respondem melhor a essa situação. Essa alteração de produtividade também pode acarretar mudanças no equilíbrio hídrico e variações na temperatura.

Tais alterações podem afetar diversos biomas, diminuindo sua biodiversidade. Dentre esses biomas, há um destaque para os de áreas úmidas, por abrigar várias espécies endêmicas, ou seja, formas de vida que só sobrevivem em um lugar específico. Além do mais, as áreas úmidas são fundamentais para o balanço global de carbono e metano.

A quantidade de CO₂ absorvido na fotossíntese, somado ao emitido durante a respiração do ecossistema, pode ser estimado por medidas de fluxo (medida pelo sistema de *Eddy Covariance*) de CO₂ no topo e estoque de CO₂ no ecossistema (adquirida com medida do perfil vertical da concentração de CO₂). O valor líquido dessa soma é denominado troca líquida do ecossistema (NEE - *Carbon Net Ecosystem Exchange*).

Em alguns trabalhos o NEE é estimado apenas pelo sistema de *Eddy Covariance*, descartando o estoque de CO₂. Entretanto, um sistema confiável de

perfil vertical de CO₂ gerando medidas de estoque de carbono pode reduzir o erro do NEE em períodos de baixa turbulência.

Utilizar apenas o sistema de *Eddy Covariance* para estimativa de NEE pode levar a interpretações erradas de atividades biológicas do ecossistema florestal. É comum, no início da manhã, ocorrer um pico positivo (fonte de CO₂), nos dados do fluxo vertical de CO₂. Entretanto, estudos em que o estoque é incluso, demonstram que para as primeiras horas da manhã o NEE pode se tornar negativo, o que caracteriza o ecossistema como sumidouro de carbono.

A dinâmica do carbono nos ecossistemas é um estudo complexo e exige uma instrumentação específica e detalhada, cujo custo de pesquisa é alto. Assim, para expandir a busca por respostas, é necessário ampliar o número de áreas estudadas. Para isso, é crucial otimizar/atualizar a instrumentação com tecnologias atuais capaz de produzir dados precisos, com manutenção e instalação simples, tornando os custos da pesquisa menor.

Avanços tecnológicos no início do século XXI contribuíram para a evolução da instrumentação ambiental alternativa, tornando acessível o desenvolvimento de sistema de perfil vertical de CO₂ e conseqüentemente, melhorando as estimativas do NEE. Este trabalho estuda a dinâmica do CO₂ no ecossistema Pantanal, principalmente o estoque de CO₂ dentro do dossel e analisar a instrumentação utilizada para determinar tal feito.

1.1. OBJETIVO GERAL

A proposta desse trabalho é aprimorar o instrumento de análise simultânea do perfil vertical e estoque de CO₂ no dossel em área de floresta preservada no norte do Pantanal Mato-grossense bem como e avaliar as concentrações CO₂ no perfil.

1.1.2. Objetivos Específicos:

- a) Construir um instrumento de coleta simultânea de perfil vertical de CO₂ corrigindo os pontos de falhas instrumentais.
- b) Instalar o instrumento aprimorado de coleta simultânea de perfil vertical de CO₂ em torre micrometeorológica.

- c) Atualizar componentes do instrumento aprimorado de coleta simultânea de perfil vertical de CO₂.
- d) Descrever o perfil vertical de CO₂ no dossel em área de floresta preservada no norte do Pantanal Mato-grossense.
- e) Calcular o estoque de CO₂ no dossel em área de floresta preservada no norte do Pantanal Mato-grossense.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O PANTANAL

O Pantanal possui a maior concentração de fauna das Américas: as planícies de inundação do Pantanal brasileiro formam uma região complexa e prioritária para a conservação biológica. Com uma extensão de aproximadamente 160.000km², é influenciado por rios que drenam a bacia do Alto Paraguai. (PADOVANI, 2010). O pantanal por ser o encontro dos ecossistemas Cerrado, Floresta Amazônica e Planícies do Chaco, apresenta grande biodiversidade vegetal e animal (JUNK, 2013).

Nas últimas décadas, a economia foi baseada no extrativismo. Com incentivos fiscais, houve aumento da criação de bovinos e do uso intensivo de pastagens naturais ou exóticas. O aumento do desmatamento para a criação de gado ocasiona mudanças no clima local, levando a sérias consequências ecológicas na região (BIUDES, 2008).

O Pantanal é um mosaico de formas de relevo que diferem em aglomerações vegetativas e dinâmicas de inundação (JOHNSON *et al.*, 2013). O transbordamento dos rios do Pantanal, juntamente com os altos índices pluviométricos, definem os pulsos de inundações, estabelecendo uma inundação máxima de 86841km², ou seja, 58% das áreas do Pantanal (PADOVANI, 2010).

Os pulsos de inundações são considerados o fenômeno ecológico mais importante que caracteriza o Pantanal, uma vez que determina os processos bióticos e abióticos. São responsáveis pela seleção natural das espécies tolerante à inundação. Contribuem para o balanço global de metano, dióxido de carbono e enxofre, o fluxo hidrológico e controle climático regional. Bem como a decomposição da matéria orgânica e liberação ou mineralização de nitrogênio, carbono, entre outros nutrientes (DALMAGRO *et al.*, 2018; VOURLITIS *et al.*, 2017; DALMOLIN, *et al.* 2015).

A importância da preservação do ecossistema Pantanal fez com que o Serviço Social do Comércio (SESC) - Pantanal criasse em 1996 a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), com uma área de 106.644 hectares. A reserva foi composta por 16 fazendas com pastagens degradadas. Com a retirada do gado, foi estabelecida a regeneração natural da vegetação, além disso, as queimadas foram proibidas na reserva desde 2001 (COUTO *et al.*, 2006).

2.2. CICLO CARBÔNICO (C)

Aproximadamente 28% da associação global de carbono do solo encontrado em regiões tropicais e cerca de 53% do carbono na biomassa terrestre estão acima ou logo abaixo do solo (SOLOMON *et al.*, 1993). Seguramente um dos elementos mais abundantes no planeta, o carbono se origina tanto de compostos orgânicos como inorgânicos (ROCHA *et al.*, 2005). O componente essencial do ciclo do carbono é o dióxido de carbono (CO₂), que juntamente com o metano (CH₄), hidrocarbonetos não metânicos (HCNM) e monóxido de carbono (CO), tais quais são essenciais a vida. O dióxido de carbono tem função de destaque na fotossíntese e regulação do clima. (MARTINS *et al.*, 2014).

Quase todo o CO₂ disponível no planeta (perto de 98%) está nos oceanos, dissolvido na água como bicarbonato, e o restante está na atmosfera, onde sua concentração oscila em torno de 0,5g CO₂ por kg de ar, com maior concentração nos grandes centros urbanos e industriais (VAREJÃO, 2006). Teorias atuais explicam que no princípio do processo de formação da Terra as concentrações de CO₂ na atmosfera eram extremamente elevadas em razão das frequentes atividades vulcânicas (DONN, 1978). Com o passar dos séculos, o CO₂ foi depositado como calcários pelas algas marinhas. Esse processo de transferência teve duas fases: a primeira, a aproximadamente 600 milhões de anos, pelos protozoários calcários e foraminíferos. A segunda, por volta de 350 milhões de anos atrás, pela proliferação de pteridófitos. Todavia, no período Cretáceo; a 100 milhões de anos, a concentração de CO₂ na atmosfera da Terra ainda era muito alta: em torno de 10 vezes acima das concentrações atuais. Com o declínio das erupções vulcânicas, houve uma vertiginosa diminuição da concentração CO₂ na atmosfera, já muito próxima dos níveis atuais (POSTEL, 1986).

As ações antrópicas ocorridas nos séculos XX e XXI ocasionaram um acréscimo de 27% nos níveis de CO₂ na atmosfera, provocado pela elevada queima de combustíveis fósseis (uma vez que 75% da energia primária do planeta origina-se desta fonte: 32% petróleo, 26% carvão e 17% gás), redução das florestas e mudanças no uso do solo (PACHECO e HELENE, 1990).

O CO₂ presente na atmosfera advém dos seguintes fatores: primeiramente, da combustão dos combustíveis fósseis e da produção de cimento que juntos liberam aproximadamente 5,5Gt (Giga Toneladas – bilhões de toneladas) de carbono a cada ano; posteriormente, as superfícies dos mares, que liberaram 90Gt

e por último, o desmatamento das florestas tropicais, que lançam anualmente 1,6Gt de carbono no ar. Porém, as florestas temperadas restantes retiram cerca de 1,8Gt e os oceanos aproximadamente 92Gt (BAIRD, 2002; LLOYD e TAYLOR, 1994).

O subsolo produz CO₂ a partir da decomposição da matéria orgânica, pela ação de organismos heterotróficos e pela respiração das próprias raízes (CLARK e PAUL, 1996). O carbono estocado varia de acordo com o tipo de solo; nos argilosos, os microrganismos atuam mais intensamente nos períodos de chuva, produzindo CO₂ em maior escala que os solos mais arenosos. (GIONGO *et al.*, 2011). A transferência de CO₂ do solo para a atmosfera é influenciada por fatores como a variações da temperatura - do solo ou do ar - e da umidade do solo, pois estes fatores exercem influência nos processos microbianos, alterando a emissão de CO₂ à atmosfera (SOUZA COSTA *et al.*, 2008).

No pantanal, a drenagem da água no solo altera os fluxos de CO₂. A topografia é um fator determinante para a drenagem lenta da água do solo, além disso, a precipitação local e a inundação regional criam condições que diminuem a difusividade do CO₂ no solo, um ciclo de inundação mais úmido, geram concentrações de CO₂ no solo maiores (LATHUILLIÈRE, et al, 2017)

Os ecossistemas florestais representam cerca de 90% da biomassa global, apresentando um alto coeficiente de retenção de carbono, comparando com outros tipos de vegetação (BARRETO, FREITAS e PAIVA 2009). As florestas possuem entre 20 e 100 vezes mais concentração de carbono por unidade de área, comparando a terras ocupadas por agricultura ou pastagens, uma vez que no desmatamento o carbono contido naturalmente na vegetação e no solo é liberado para a atmosfera em forma de CO₂. (PACHECO e HELENE, 1990).

À medida que a vegetação se desenvolve, grande quantidade de gás carbônico é absorvido naturalmente pelas plantas pelo processo de fotossíntese, no qual o carbono é fixado na matéria lenhosa da floresta; assim, 500Gt de carbono é estocada pelos vegetais anualmente (YU, 2004). É inegável que as florestas são fundamentais para um estoque equilibrado de carbono na terra, pois é onde se concentra muito mais carbono do que na atmosfera. (HOUGHTON, 1994).

Estudos de fluxos de CO₂ em florestas tropicais úmidas demonstram que tais ecossistemas apresentam os maiores fluxos de CO₂, (MALHI *et al.*, 1998). Os pulsos de inundação que ocorrem sazonalmente no Pantanal mato-grossense interferem no balanço de carbono. Estudos apresentaram sazonalidade nos fluxos

de CO_2 e CH_4 com valores máximos durante o início e o final do ciclo de alagamentos (DALMAGRO *et al.*, 2018) e diminuição na concentração de CO_2 com o aumento do conteúdo de água no solo, como resultado da diminuição da respiração e a atividade microbiana do solo (PEREIRA *et al.*, 2009).

O CO_2 que emerge do subsolo é proveniente da respiração de raízes das plantas (respiração autotrófica - R_a) e da respiração de organismos do solo (respiração heterotrófica - R_h). O material orgânico em decomposição sobre o solo também pode ser inserido neste ciclo (FIGURA 1) (KIRSCHBAUM *et al.*, 2001).

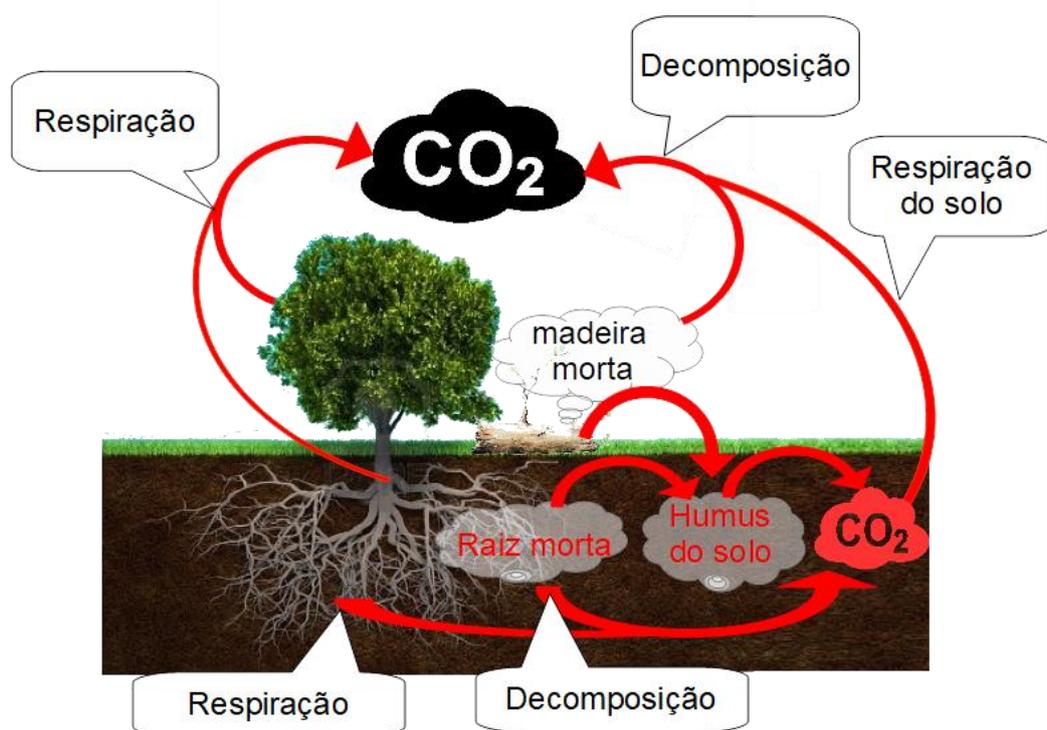


FIGURA 1 - Ciclo do carbono no ecossistema terrestre.
Fonte: modificado de KIRA (1987).

A troca líquida de CO_2 (NEE) resulta do equilíbrio entre os seguintes processos: respiração heterotrófica (R_h) e produção primária líquida (NPP) - (equação 01 e 03). A respiração heterotrófica refere-se ao carbono perdido pelos organismos em ecossistemas que não são as plantas. A NPP consiste na produção primária bruta (GPP) menos a quantidade de carbono que as próprias plantas respiram (R_a) - (equação 02). A produção primária bruta (GPP) refere-se à quantidade total de carbono fixado no processo de fotossíntese por plantas em um ecossistema (KIRSCHBAUM *et al.*, 2001).

$$NEE = NPP - Rh \quad (01)$$

$$NPP = GPP - Ra \quad (02)$$

$$NEE = GPP - Ra - Rh \quad (03)$$

Em geral, o intercâmbio líquido de CO_2 no ecossistema (NEE - FIGURA 2) é a soma do fluxo de CO_2 (F_c) e o estoque de CO_2 no dossel (S) (GRACE, *et al*, 1996). Os valores positivos ocorrentes durante o período noturno indicam liberação de CO_2 , principalmente pelo processo de respiração do ecossistema. Em contrapartida, os valores negativos que ocorrem durante o período diurno indicam absorção de CO_2 por meio de atividade fotossintética realizada pela vegetação (SILVA, 2010).

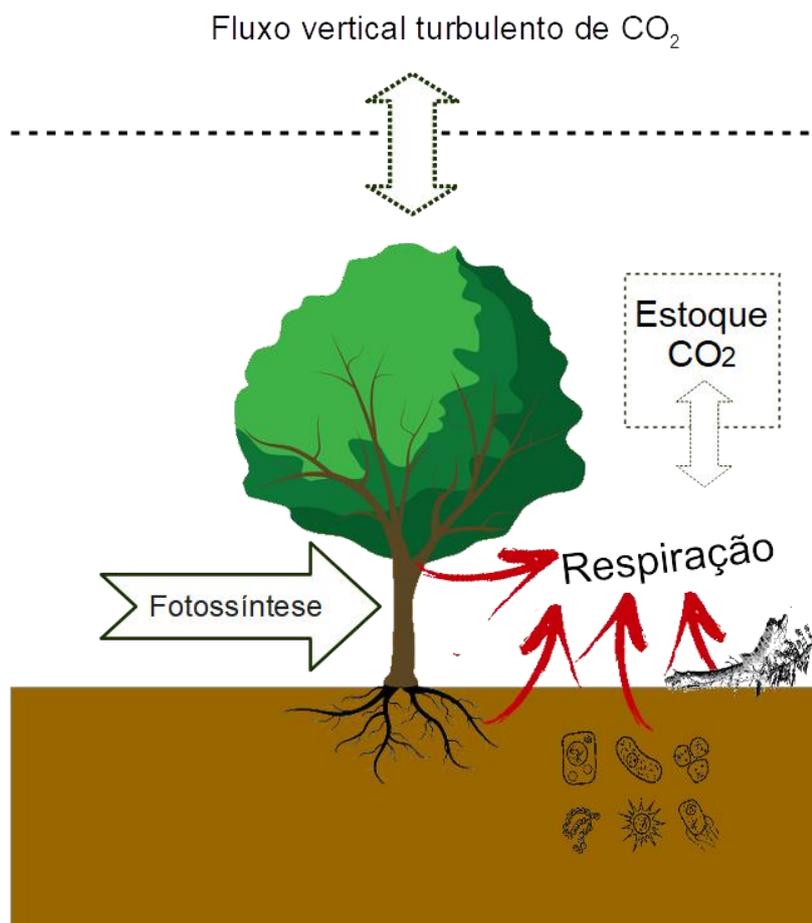


FIGURA 2 – Representação de um ecossistema, na qual a troca líquida de CO_2 (NEE) é resultado da interação entre o fluxo vertical e o estoque de CO_2 .

Os ecossistemas geralmente apresentam NEE em equilíbrio. A grande maioria dos sistemas tem um NEE positivo, com o incremento de estoque gradual via NEE sendo equilibrado a longo prazo por perdas de estoque relativamente repentinas causadas por perturbação. As perturbações podem ser regulares, com ciclos anuais, ou ocasionais e irregulares, como por incêndios ou episódios esporádicos (erupção vulcânica), ou por ação antrópica, como o desmatamento, que remove a biomassa (KIRSCHBAUM *et al.*, 2001).

2.3. TROCA LIQUIDA DE CARBONO DO ECOSISTEMA

O aumento gradativo de alterações antrópicas em ecossistemas torna o estudo de NEE indispensável. O NEE temporal é espacialmente integrado entre um ecossistema e a atmosfera. A equação 04 representa a equação completa do orçamento dos componentes, mostrando que o componente produzido pela fonte ou absorvida pelo dissipador (V) pode ser armazenado no volume de controle (I) ou transportado por advecção (II), ou por turbulência (III e IV) (AUBINET *et al.*, 2012).

$$\begin{aligned} \frac{1}{4L^2} \int_{-L}^L \int_{-L}^L \int_0^{h_m} & \left[\underbrace{\frac{\partial \bar{X}_s}{\partial t}}_I + \underbrace{\rho_a u \frac{\partial \bar{X}_s}{\partial x} + \rho_a v \frac{\partial \bar{X}_s}{\partial y} + \rho_a w \frac{\partial \bar{X}_s}{\partial z}}_{II} + \underbrace{\frac{\partial \rho_a \overline{u'X'_s}}{\partial x} + \frac{\partial \rho_a \overline{v'X'_s}}{\partial y}}_{III} \right. \\ & \left. + \underbrace{\frac{\partial \rho_a \overline{w'X'_s}}{\partial z}}_{IV} \right] dzdxdy \\ & = \frac{1}{4L^2} \int_{-L}^L \int_{-L}^L \int_0^{h_m} \underbrace{\bar{S}_s}_{V} dzdxdy \end{aligned} \quad (04)$$

Essa equação pode ser simplificada de várias maneiras, usando diferentes hipóteses. Normalmente, supõe-se que o sistema de medição é colocado em uma camada horizontalmente homogênea de equilíbrio, onde todos os gradientes horizontais são insignificantes e as taxas de mistura e fluxos turbulentos medidos na torre são considerados representativos de todo o volume. Desta forma, considera-se a integração horizontal desnecessária e o NEE simplificado (equação 05) pode ser deduzido como (FINNIGAN, 2003):

$$\underbrace{\int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \frac{\partial \overline{X_s}}{\partial t} dz}_I + \underbrace{\int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \overline{w} \frac{\partial \overline{X_s}}{\partial z} dz}_{II} + \underbrace{\overline{\rho_d} \overline{w'X'}|_{h_m}}_{VI} = \underbrace{F_s}_V \quad (05)$$

O termo $\overline{w'X'}|_{h_m}$ refere-se ao fluxo turbulento vertical no topo do volume de controle e F_s representa a mudança no armazenamento no espaço aéreo do dossel. Já o termo II representa a advecção vertical no topo do volume de controle, que resulta da mudança de densidade do ar seco. Por aplicação da conservação do ar seco, esse termo pode ser reescrito (equação 06, 07 e 08) como:

$$\int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \overline{w} \frac{\partial \overline{X_s}}{\partial z} dz = - \int_0^{h_m} \left[\int_0^z \frac{\partial \overline{\rho_d}}{\partial t} dz' \right] \frac{\partial \overline{X_s}}{\partial z} dz \quad (6)$$

$$\int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \overline{w} \frac{\partial \overline{X_s}}{\partial z} dz = - \int_0^{h_m} [\overline{X_s}(z) - \overline{X_s}(h)] \frac{\partial \overline{\rho_d}}{\partial t} dz \quad (07)$$

A equação 05 pode, assim, ser reescrita como:

$$\int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \overline{w} \frac{\partial \overline{X_s}}{\partial z} dz + \int_0^{h_m} [\overline{X_s}(z) - \overline{X_s}(h)] \frac{\partial \overline{\rho_d}}{\partial t} dz + \overline{\rho_d} \overline{w'X'}|_{h_m} = F_s \quad (08)$$

No entanto, na maioria das vezes, o termo II é insignificante, de modo que a equação 05 pode ser escrito simplesmente:

$$\underbrace{\int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \frac{\partial \overline{X_s}}{\partial z} dz}_I + \underbrace{\overline{\rho_d} \overline{w'X'}|_{h_m}}_{IV} = \underbrace{F_s}_V \quad (09)$$

Esta equação está na base do método generalizado de covariância de vórtices: sugere que, de fato, o fluxo de carbono trocado por um ecossistema, (NEE, termo V) pode ser estimado pela troca turbulenta de CO₂ acima do dossel $\overline{w'X'}|_{h_m}$, na altura hm (F_c , termo IV), e pela mudança de armazenamento do carbono entre o solo e a altura hm (S, termo I):

$$NEE = F_c + S \quad (10)$$

O método de *Eddy covariance* (EC), ou covariância de vórtices turbulentos, amplamente utilizado para estimar o F_c , é um dos mais diretos. Este método requer uma instrumentação sofisticada, exigindo uma taxa de aquisição de

dados de 10 Hz, uma vez que as flutuações turbulentas acontecem muito rapidamente e alterações nas respectivas concentrações, densidade ou temperatura são pequenas.

A outra parte da equação da troca líquida de ecossistemas é a medição do termo de armazenamento, $\int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \frac{\partial \overline{X_s}}{\partial t} dz$, que se refere as integrais verticais de concentrações no tempo. Os valores da concentração podem ser medidos continuamente a partir de coletas de ar extraídas igualmente de todas as alturas e conduzidas a um analisador de gás de caminho fechado, ou usando um instrumento de caminho aberto que analisa a densidade total de CO₂ entre o solo e a altura do sensor instantaneamente (Grace *et al*, 1996). Assim, a equação 11 é a que melhor descreve o cálculo de estoque.

$$S = \int_{z=0}^{z=h} M C_{CO_2}(z) dz \quad (11)$$

$$s = M \times 1000 \frac{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{X_i + X_{i+1}}{2} \right) * (Z_{i+1} - Z_i) \right]_{t+1} - \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{X_i + X_{i+1}}{2} \right) * (Z_{i+1} - Z_i) \right]_t}{T} \quad (12)$$

Nessa equação n é o numero total de nível do perfil, X é a concentração de CO₂ [mg m⁻³]; Z é a altura do ponto de coleta (m), T é o tempo percorrido entre uma análise e outra (s); M é a massa molecular do gás em estudo e S, o estoque de CO₂ dentro do dossel [μmol m⁻² s⁻¹].

A transformação da concentração de CO₂ de ppm para mgm⁻³ ocorre da seguinte maneira: nas condições normais de temperatura e pressão 1,0 mol de ar ocupa um volume de 22,4 L ou 0,0224m³. A concentração mássica (C_M), é descrita pela equação 13, onde C é a concentração do gás (1 μmol = 10⁻⁶ mol) e M_R é a massa molecular do gás em estudo (M_R = 44g)

$$C_M = \frac{C \cdot M_R}{0.0224} \quad (13)$$

$$C_M = \frac{C \cdot 44}{0.0224} = C \cdot 1964,28 \left[\frac{g}{cm^3} \right] \quad (14)$$

$$C \cdot 1964,28 \left[\frac{g}{cm^3} \right] = 1,964 \cdot 10^{-3} \frac{g}{m^3} = 1,964 \frac{mg}{m^3} \quad (15)$$

O número de níveis de medição necessários para quantificar, com precisão, o perfil da taxa de mistura depende da complexidade e da altura do dossel. Estudos compararam a diferença entre estimativas de armazenamento baseadas em um único ponto e em um perfil completo. Esses estudos apontaram diferenças de até $25 \text{ gCm}^{-2}\text{ano}^{-1}$ no NEE, $80 \text{ gC m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ na respiração do ecossistema total (TER) e $100 \text{ gC m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ na produção primária bruta (GPP) (PAPALE *et al.* 2006)

Dentre os níveis de análise de CO_2 , os abaixo do dossel são essenciais para ajustar corretamente o termo de armazenamento. A remoção de um nível de medição acima do dossel produziu incertezas menores que 01% nas estimativas anuais de NEE. Já ao remover um nível de medição abaixo do dossel, as incertezas podem variar de 20 a 60% (AUBINET *et al.*, 2012).

Os perfis devem ser formados por pelo menos 04 níveis de medição, e quanto mais alto e complexo o dossel, mais níveis devem existir. É fundamental que o nível inferior (mais próximo do solo, Nível 01) seja o mais baixo possível, o que torna um desafio ainda maior em locais com acúmulo significativo de água, como no caso do Pantanal brasileiro, e neve. A altura de medição ideal para estas regiões exige ajuste na altura do sensor e documentação cuidadosa. Já as distâncias entre os demais níveis de medição (a distância entre o Nível 01 e o topo da torre) deve ser igual. Para florestas, deve haver, no mínimo, dois níveis de medição acima do dossel, o que inclui medições no topo da torre. Além do mais, o segundo nível deve estar associado à altura média do dossel e à região com maior densidade da área folhar. A colocação de outros níveis de medição abaixo do dossel deve capturar outros extratos ecologicamente significativos, por exemplo, o sub-bosque e a copa das plantas (AUBINET *et al.*, 2012).

A análise das relações de mistura do perfil está sujeita a algumas preocupações. Apenas um analisador deve ser utilizado, evitando que o erro interno do equipamento interfira nos resultados. Cada linha de amostra contém um filtro de entrada, e as entradas de perfil devem ser abertas uma de cada vez. A saída do analisador, imediatamente após a mudança para um novo nível, precisará ser descartada, devido a transientes de pressão da comutação da válvula e para permitir que a entrada seja limpa com ar da amostra selecionada. A escala de tempo das medições de perfil precisa corresponder ao tempo de integração para os fluxos de covariância de vórtices (AUBINET *et al.*, 2012).

2.4. MÉTODOS PARA ANÁLISE DE PERFIL DE CO₂

A análise da concentração de CO₂ em alturas distintas é usada para se construir um perfil vertical de CO₂. Existem diversas maneiras para se obter a concentração de CO₂. Alguns trabalhos utilizam o método não automático, baseado em análises químicas. Esse método funciona da seguinte maneira: utiliza uma solução contendo 20mL de óxido de sódio (NaOH) 1mol L⁻¹ em cada altura, onde se deseja encontrar a concentração de CO₂. Em cada recipiente recolhe 5mL da solução de NaOH remanescente que foi titulada com ácido clorídrico (HCl) 0,5mol L⁻¹, utilizando duas ou três gotas de fenolftaleína como indicador; após a adição de 5mL de cloreto de bário (BaCl₂) 0,5mol L⁻¹ precipita os carbonatos formados. Normalmente as amostras são feitas a cada dois ou três dias (AGUILAR, 2001).

Algumas metodologias empregam analisadores de gás de circuito fechado para medir as concentrações de CO₂. Esses processos são, obviamente, mais dinâmicos, porém requerem um sistema de bombeamento com diafragmas e válvulas solenoides, que buscam o ar nos pontos de uma coluna e o leva ao dispositivo que o analisa. Esse método apresenta uma maior frequência na coleta de dados, em muitos casos, a cada 30 minutos (GALLON *et al.*, 2006 e LEAL *et al.*, 2006).

Certamente o método automático é preferido para medir perfis de CO₂. A metodologia mais conhecida é a do "Sistema Draino" (TOTA *et al.*, 2008), criado nos Estados Unidos – Universidade Estadual de Nova York. No Brasil, este método foi aplicado em pesquisas do LBA ("Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia) em Manaus e Santarém. Trata-se de um sistema que utiliza sensores que acusam variações térmicas; umidade do ar; concentração de CO₂ e velocidade e direção do vento. A avaliação do perfil de CO₂ ocorre através de um analisador de gás infravermelho LI-7000 (LI-COR inc., Lincoln, Nebraska, EUA) (TÓTA *et al.*, 2012).

A empresa Campbell Scientific, Inc (Copyright © 2012 - 2014) emprega, na versão comercial, um equipamento similar ao "Sistema Draino". Trata-se do AP200 (FIGURA 3), um instrumento que realiza uma operação completa, determinando o perfil de CO₂ e H₂O, da atmosfera. Este equipamento pode utilizar até oito entradas para medir a concentração de CO₂ e de vapor de água. Este equipamento possui coletores de amostras, bomba, válvula *Datalogger*

CR1000 e analisador LI-840A (construído pela LI-Cor®, Inc, Lincoln, NE), além de componentes eletrônicos que monitoram todo o sistema (SCIENTIFIC, 2014).

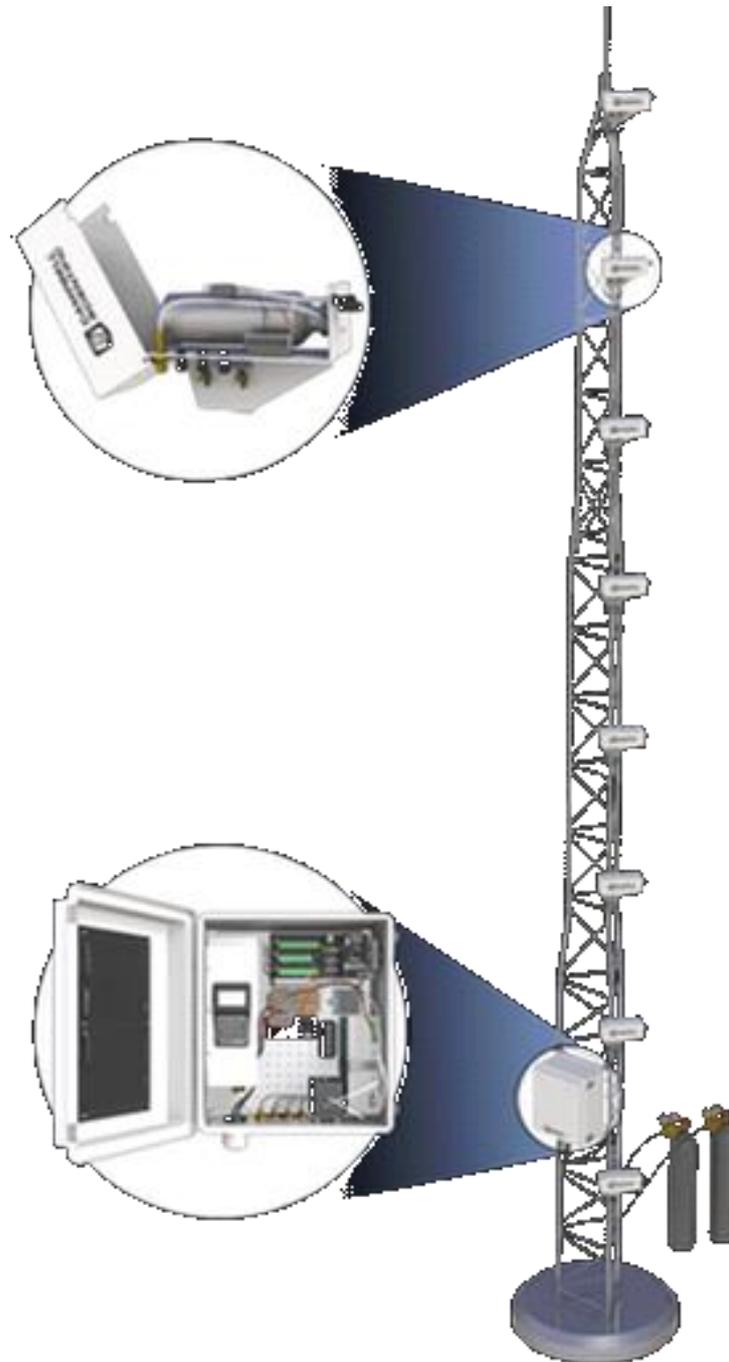


FIGURA 3- Equipamento comercial para análise de estoque de carbono no dossel. Sistema AP200 - Campbell Scientific, Inc (Copyright © 2012 - 2014)

2.5. INSTRUMENTAÇÃO ALTERNATIVA

Em estudos microclimáticos é comum utilizar equipamentos meteorológicos criados e aperfeiçoados em empresas especializadas. Normalmente estes instrumentos apresentam um alto custo, são duráveis e precisos, além de permitir interface entre sensores e sistemas de armazenamento e transmissão dos dados (GARRISON e ROEDER, 1999).

Os sistemas de armazenamento de dados, também denominados registradores de dados ou *dataloggers*, tem como função gravar os parâmetros utilizados em várias aplicações do cotidiano: monitoramento ambiental, monitoramento de estruturas, monitoramento de máquinas agrícolas, industriais e automóveis, dentre outras finalidades. A escolha do tipo de *datalogger* a ser utilizado deve ser feita considerando o tipo de medição e quantidade de sensores que serão utilizados, além do nível de tecnologia do projeto ou estudo (BASSO, 2016).

O uso de equipamentos alternativos impulsiona a pesquisa de análises ambientais. Esse caminho decorre da crescente utilização de dispositivos automáticos para a obtenção de dados. Em determinados trabalhos nessa área, a comparação dos resultados obtidos, tanto pelo meio alternativos como pelo equipamento comercial, apresentaram precisão satisfatória, comprovando que as pesquisas referentes ao estudo do clima podem ser realizadas com baixos custos, mantendo resultados confiáveis (CAMERINI *et al.*, 2011).

As principais razões do crescimento de sistemas alternativos para obtenção de dados são as simplificações oferecidas pelos circuitos eletroeletrônicos (placas microprocessadas) que permitem programações de maneira relativamente simples. Placas do tipo Raspberry Pi ou Arduino, empregam os conceitos de *software* e *hardware* livres (*open source*), reduzindo consideravelmente os custos da pesquisa. As placas do projeto Arduino usam circuitos microprocessados, com sistema de temporização, aquisição e comunicação integrados, o que viabiliza a comunicação por meio de um IDE (*Integrated Development Environment* – ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) entre um microcomputador e a plataforma, possibilitando análise das variáveis em estudo (ARAÚJO *et al.*, 2012).

O emprego da plataforma Arduino em medições climáticas é algo novo, de maneira que ainda são raros os trabalhos científicos com este recurso, apesar do aumento do uso desses dispositivos. Novos estudos surgem diariamente, como por exemplo: o desenvolvimento de uma rede de sensores de análises meteorológicas capaz de prever eventos catastróficos (YAWUT, 2011); a implementação por sistemas embarcados parametrizável para coleta de dados microclimáticos georreferenciados (PEREIRA, 2013) e o desenvolvimento de uma estação meteorológica automática de baixo custo, a partir do Arduino (TORRES, 2015).

Sistemas de armazenamento de dados baseado em Raspberry Pi apresentaram ótima estabilidade e compatibilidade com sensores de várias marcas

e alternativos. Por ser baseado em um Microcomputador, esse sistema traz enorme vantagem em relação aos *dataloggers* convencionais, principalmente, do que diz respeito a capacidade de executar pré-análises e conectividade (BASSO, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As alterações e atualizações no instrumento de análise foram realizadas no Laboratório de Instrumentação do programa de pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, e os dados foram adquiridos na Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN SESC – Pantanal (**FIGURA 4**FIGURA 4), município de Poconé – MT, que está distante 130 km de Cuiabá – MT, na região denominada Baía das Pedras, situada nas coordenadas 16°29'52" S e 56°24'47"O.



FIGURA 4 - Mapa área de estudo.

A região apresenta um solo classificado como GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico; a característica deste solo é a mudança abrupta na textura com acentuada diferença do horizonte A para o horizonte B, apresenta permeabilidade lenta ou muito lenta, profundidade de 150 cm e textura arenosa (MOREIRA e VASCONCELOS, 2011). Nessa área ocorre inundação tipo monomodal, com pequena magnitude (HAMILTON *et al.*, 1996) devido a variação anual do nível da água do rio Cuiabá e a precipitação local (ARIEIRA e NUNES DA CUNHA, 2006).

3.1. A TORRE MICROMETEOROLÓGICA

Para incrementar o estudo de estoque de CO₂ no dossel foi necessário um sistema de medição das variáveis microclimáticas. Foram utilizado os dados coletados na torre de análise microclimática (FIGURA 5) instalada na Base Avançada de Pesquisa do Pantanal dentro da RPPN SESC – Pantanal. A torre esta a 150m de altitude em relação ao nível do mar, inserida em vegetação considerada próxima a nativa pantaneira, com alguns pequenos estandes de Pombeiro (*Combretum lanceolatum* Pohl), Algodão-do-Pantanal (*Ipomoea carnea* spp.) e alguns exemplares de Cambará (*Vochysia divergens* Pohl) (CORINGA *et al.*, 2012, NASSARDEN, 2015).

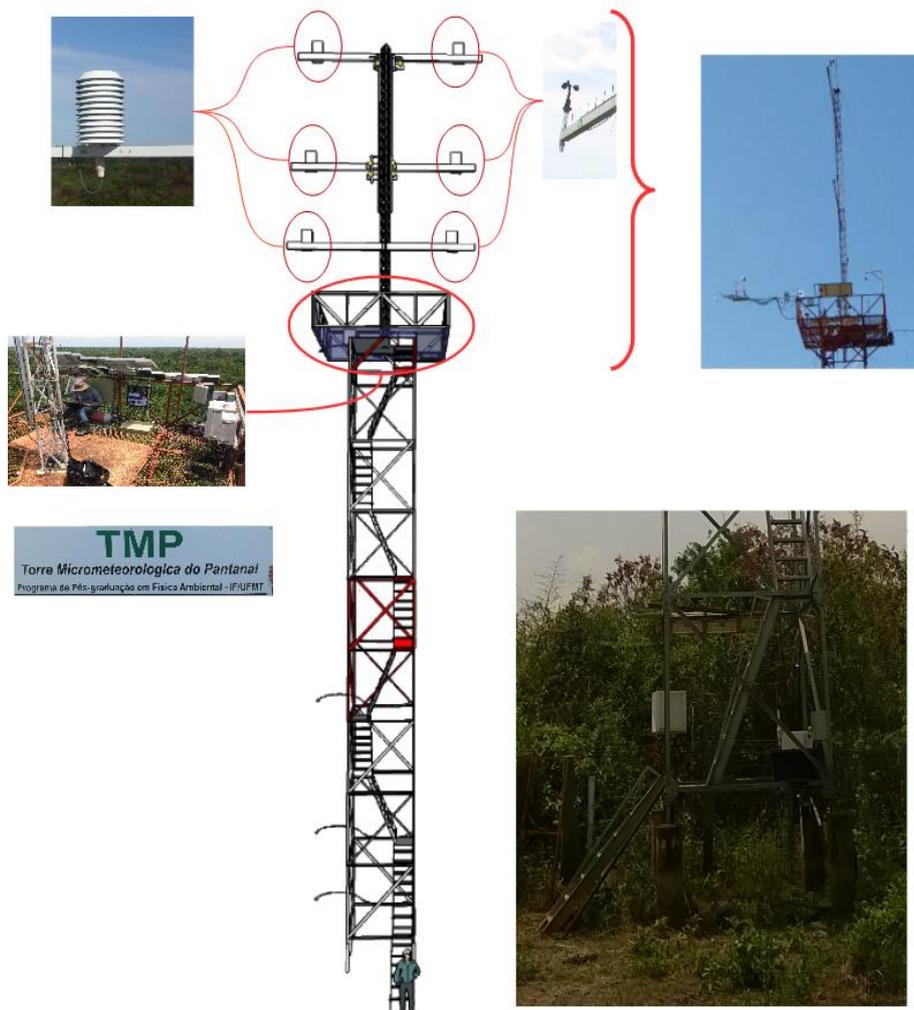


FIGURA 5: Torre micro meteorológica do Pantanal. No canto superior esquerdo em destaque os sensores de umidade relativa e temperatura, no canto superior direito estão os anemômetros e a vista lateral da torre. Ao centro, a plataforma de operação no canto inferior direito é a base da torre onde então instalados os sensores de monitoramento do solo.

A plataforma instrumental na qual estão distribuídos os sensores microclimáticos consiste em uma torre de ferro galvanizado com 20m de altura, além de uma extensão de mais 12 m no topo totalizando 32m. A torre possui Termistores 108-L (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA) instalados em de profundidade (1, 3, 5, 10 e 30cm) para medir a temperatura do solo. Uma fluxímetro para medidas de fluxo de calor no solo (HFP01-L20, Hukseflux Thermal Sensors B.V., Delft, The Netherlands) a 01 cm de profundidade. Para a umidade do solo foi utilizado os sensores do tipo TDR (CS616, Campbell Scientific, Inc.), dispostos a 20, 40 e 60 cm sob a superfície.

A 20 metros de altura há uma plataforma de 16m² com um *datalogger* (CR1000, Campbell Scientific, Inc., Ogden, Utah); um pluviômetro TE525MM (Higrômetro Texas Electronics); um CNR4 net radiometer (Copyright © 2000-2010 Campbell Scientific Inc.); um par de pirômetros (LI200X, LI-COR, Lincoln, NE, USA) e um par de LI190SB Quantum Sensor (Campbell Scientific Inc., Utah).

A temperatura e a umidade do ar foram medidos por meio de termohigrômetros (HMP-45AC, Vaisala Inc., Woburn, MA, USA) instalados nas cotas 22, 26 e 30m e as mesmas onde estão os anemômetros (03101-L, Vaisala, Inc., Woburn, MA, USA).

Os pontos de coleta de ar do perfil vertical de CO₂ estão instalados a 1.05m, 3.35m, 7.35m e a 18m. O sistema de aquisição de dados o analisado e as bombas estão na plataforma de 16m² junto ao sistema de *Eddy covariace* (Anemômetro sônico tridimensional CSAT3 - Campbell Scientific, Logan, UT, USA; LI-7500A - LICOR Inc., Lincoln, NE, USA) as baterias e o sistema de internet.

A fase de inundação foi determinada medindo os níveis de concentração de oxigênio (O₂) dissolvido (OD); O início de cada ciclo de cheias é marcado quando os valores de OD decaem. Este período foi classificado como Anaeróbico (solo saturado). Assim, o ciclo de cheia termina quando as leituras de OD aumentam, iniciando ao ciclo aeróbico (solo seco). As leituras foram realizadas com a sonda SO-10 (Insite IG, Slidell, Los Angeles, CA, EUA, precisão 1% de leitura ou $\pm 0,02$ ppm, o que for maior). (DALMAGRO *et al*, 2018).

3.2. ALTERAÇÃO NO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO₂

As falhas do instrumento de análise de perfil vertical de fluxo de CO₂ levaram à enormes alterações. A mais importante foi a troca do sistema *datalogger*, responsável por armazenar os dados do analisador de gás; controlar as válvulas solenoides e acionar o sistema de sucção. O sistema anterior era composto por uma placa arduino yún, que foi substituída pelo pequeno computador Raspberry pi 3.

O Raspberry Pi 3 é a terceira geração de micro computadores da Raspberry Pi Foundation. Apresenta processador Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 CPU de 64 bits, memória RAM de um GB de RAM, porta Micro SD para carregar seu sistema operacional e armazenar dados, quatro portas USB, uma saída HDMI, fonte de alimentação Micro USB comutada atualizada até 2.5A, quarenta pinos GPIO para conexão de dispositivos junto ao sistema processador. O Raspberry Pi pode ser utilizado diretamente conectado a um monitor, teclado, mouse e internet; ou remotamente pelo terminal via SSH. O sistema operacional é Raspbian (um dos sistemas oficial do fabricante), uma das versões do sistema Linux Debian, o que lhe confere maior praticidade.

O Rasbbian é disponível gratuitamente para download (<https://www.raspberrypi.org/downloads>) e deve ser montado no cartão SD antes de ser inserido no micro computador, que não dispõe de disco rígido, por isso, trabalha com cartão de memória flash modelo SD.

Para conectar os demais componentes ao Raspberry Pi3 foi utilizado um expensor de pinos para Raspberry Pi GPIO. O expensor é um prático e eficiente módulo eletrônico desenvolvido especialmente para facilitar as conexões do Raspberry com os demais componentes emparcados.

O sistema de acionamento de potência, também foi substituído. Os quatro módulos de relé Serial (ROBOCORE® 2015), foi substituído por um módulo Relé 5V com 8 Relés; o diferencial deste módulo é a presença de optoacopladores, componentes capazes de isolar uma região da outra, funcionando com um sistema de segurança que em casos de descargas elétricas (raios) protege o sistema.

O sistema de sucção de amostras de ar, antes formado pela bomba de ar ou compressor serie 107 (Gardner Denver Thomas) e pela TD- 4X2N (BRAILSFORD & CO., INC ANTRIM, NH U.S.A.) deu lugar a um conjunto composto por quatro mini bombas TYAP127. Cada bomba contém um motor

(12V) de tamanho adequado capaz de impulsionar até 5 litros de ar por minuto, sendo destacada pela sua eficiência e precisão durante sua execução. Além de operar com uma corrente de 600mA produzindo um vácuo de -50kpa, sem a utilização de óleo na bomba.

As bombas foram ligadas em paralelo para evitar uma admissão excessiva no lado de aspiração, já que isto conduz a um funcionamento irregular da bomba com forte formação de ruído, reduzindo a vida útil da bomba. A pressão prévia máxima não pode exceder 0,7bar no lado de aspiração.

O conjunto de acionadores solenoides que direciona o fluxo de ar dentro do sistema também sofreu atualizações. Ao invés de utilizar o conjunto modelo 031SS da série Marke (Numatics ®), que possibilita acionar duas vias (1/2), foi utilizado o conjunto MAC modelo 35A, que controla apenas uma via. Necessitando de um número menor de relés para acionar os solenoides.

Para diminuir as vibrações, geradas pelos motores das bombas e evitar que danifiquem os sistemas de *datalogger* e Licor 840A, Separou o instrumento em dois abrigos (FIGURA 7); um para o sistema de *datalogger* (Raspberry pi3) e analisador de gás (LICOR 840A); e outro com os componentes eletromecânicos (conjunto de bombas, Relés e válvula).

O sistema de controle responsável por coordenar os equipamentos de forma automática foi desenvolvido basicamente por módulos, sem a necessidade de realizar soldas para conectar os componentes. O núcleo de processamento é formado pelo Raspberry pi3 e o relógio de tempo real DS3231 (Real Time Clock – RTC). Os acionadores de potência pelo modulo de 08 relés.

O relógio de tempo real RTC DS3231 é de alta precisão com baixo consumo de energia, seu nódulo contém um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão (FIGURA 6).

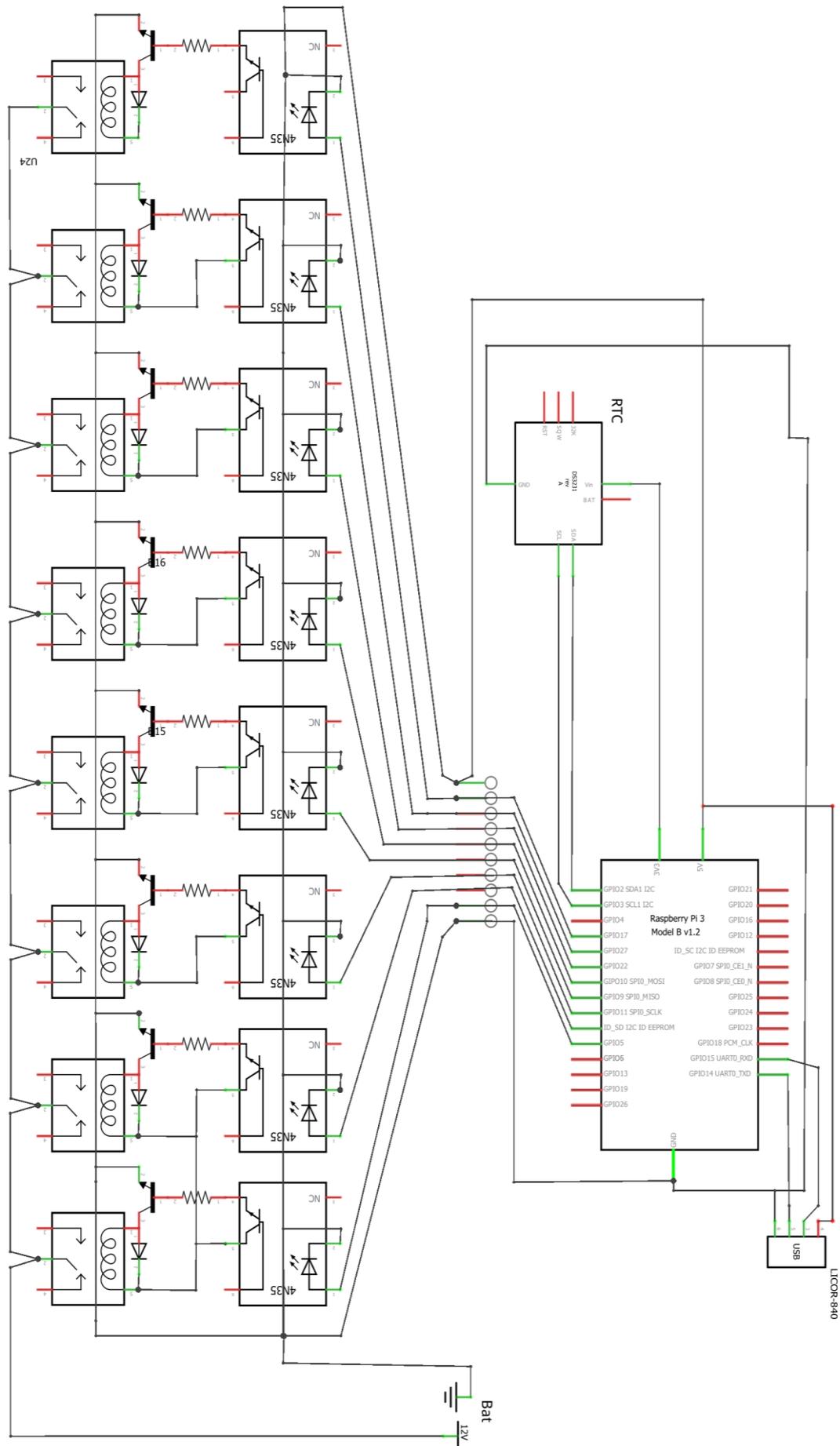


FIGURA 6 - Diagrama elétrico do sistema de controle. 1- Modulo relé; 2 Raspberry Pi3; RTC DS3231 e Conector USB LICOR- 840A.

3.2.1. ALTERAÇÃO DE ARQUITETURA

Para produzir o perfil simultâneo de CO₂, o funcionamento do instrumento ocorreu da seguinte maneira: Passo 01: o conjunto de quatro válvulas solenoides eram todas abertas e o conjunto das minibombas de vácuo ligado. O ar era aspirado para o interior das mangueiras. Após todo o ar das mangueiras (4x25m) ser trocado as válvulas eram fechadas e o conjunto de mini bombas eram desligado, mantendo as amostras de ar dentro dos dutos. Passo 02: Abria a válvula correspondente a altura a ser aspirada, ligava o conjunto de minibombas até que a amostra (posicionada no ponto médio da mangueira - 12,5m) chegasse ao analisador de gás; desligava as minibombas e a válvula, esperava o analisador de gás estabilizar a pressão interna, realizar a leitura da concentração de CO₂ e armazenava-a. Depois do dado armazenado o passo 02 era repetido até que todas as alturas fossem analisadas. O passo 01 iniciava a cada 05 minutos.

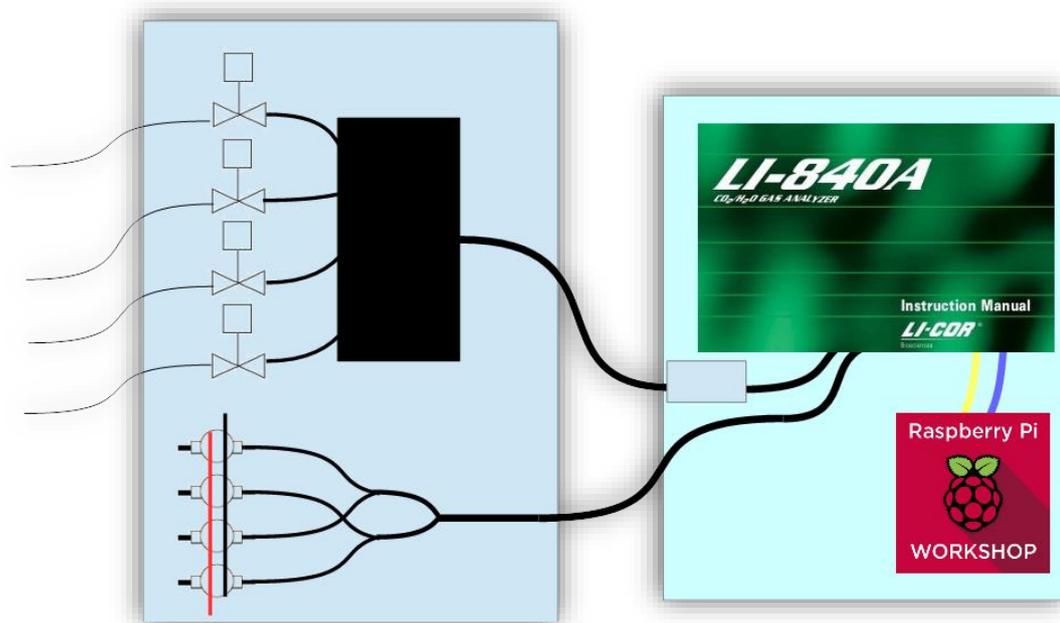


FIGURA 7: Arranjo atualizado do Instrumento de análise de perfil vertical de CO₂. Em azul, representa o abrigo com os equipamentos eletromecânicos (válvulas solenoides, bombas de diafragma e *manifold*). Em verde, os componentes eletrônicos (Li-Cor 840A e Raspberry Pi3)

3.2.2. ALTERAÇÃO DE SOFTWARE

Para desenvolver a rotina de controle e armazenamento utilizou-se o Python 03 e *shell script*. O Python é uma linguagem de alto nível (*VHLL - Very High Level Language*), orientada a objetos, interpretada via *bytecode*, com tipagem forte (não há conversões automáticas) e dinâmica (não há declaração de variáveis e podem conter diferentes objetos), modular, multiplataforma e de implementação livre. Já o *shell script* pode ser definido como um arquivo com vários comandos que pode ser executado sempre que preciso. Além das tarefas básicas de navegação entre diretórios e manipulação de arquivos, o *shell* possui todas as estruturas de uma linguagem de programação, como IF, FOR, WHILE, variáveis e funções.

Os scripts em shell foram agendados no serviço cron por meio de uma espécie de tabela conhecida como crontab. Esse serviço do sistema operacional do Raspberry Pi 3 carrega durante a inicialização do sistema operacional e a cada 01 minuto, permitindo programar a execução de comandos e processos de maneira repetitiva ou apenas uma única vez.

A estrutura do software (FIGURA 8) de controle e leitura iniciava pelo agendamento no cron (APÊNDICE A): este a cada 05 minutos executa um shell script chamado perfil.sh (APÊNDICE B): que executava 09 scripts em python (passo1.py; passo2.py; lerLicor1.py; passo3.py; lerLicor2.py; passo4.py; lerLicor3.py; passo5.py e lerLicor4.py). Os scripts “passos” (APÊNDICE C) controlavam os relés e os “LerLicor” (APÊNDICE D) salvavam as leituras do analisado

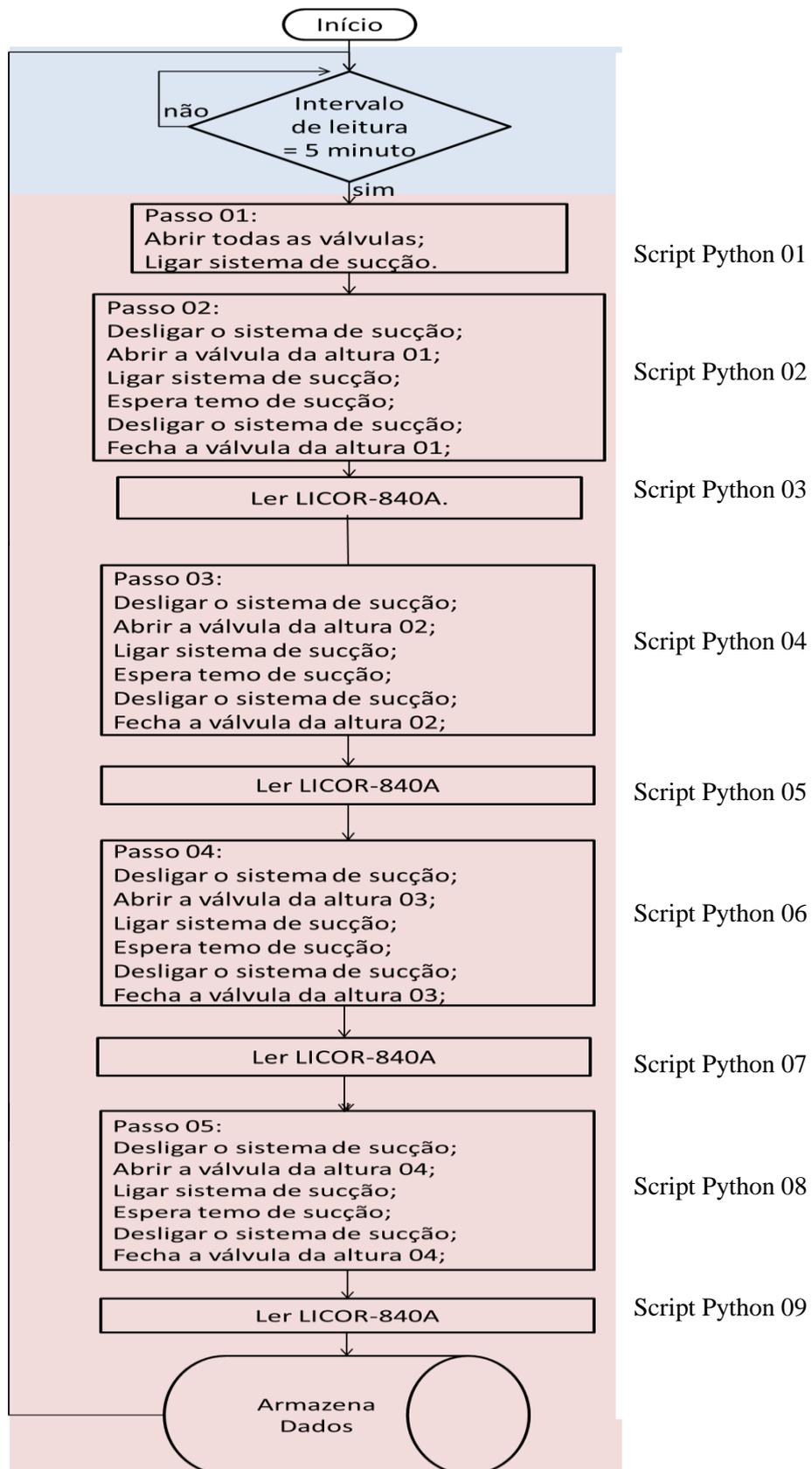


FIGURA 8 - Algoritmo do software de controle e armazenamento de dados Em Azul ocorre apenas no cron. Em rosa, o shlle scrpt que coordena os executáveis em Python.

3.2.3. INTERVALO DE MEDIDA

Para determinar o perfil simultâneo das concentrações em quatro níveis distintos dentro do dossel, foi preciso determinar o tempo necessário para que uma amostra de ar de todas as alturas preenchesse as mangueiras, um intervalo de tempo para que uma amostra de cada mangueira fosse analisada e o tempo de estabilidade do sensor.

3.2.3.1. COLETA SIMULTÂNEA DE AR

O ponto de trabalho (ou ponto de operação) de uma bomba em um sistema pressurizado, normalmente é obtido sobrepondo-se à curva característica da instalação à curva característica da bomba. Desta forma, quanto maior o vácuo menor a vazão do sistema. Assim, a associação de quatro bombas de vácuo sem carga no sistema resultou em vazão máxima de 28l/minuto. Já com o sistema todo montado a pressão negativa necessária para aspirar as quatro alturas, diminuiu a vazão para 0,32/minuto. Deste modo, as especificações para determinar o tempo para coletar as 04 alturas ao simultaneamente, foram o diâmetro interno (D) - 4mm, e o comprimento (h) - 25m, das mangueiras coletoras; a vazão (q) foi de 0,32l/min.

$$q = \frac{1l}{min} = 1 \times \frac{1min}{60s} = \frac{1}{60} \frac{l}{s} \quad (16)$$

$$v = \frac{A_b}{h} = \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{h} = \frac{\pi \frac{0,004^2}{4}}{25} = \frac{1,556 \times 10^{-5}}{25} = 3,141 \times 10^{-4} m^3 \left(10^3 \frac{l}{m^3} \right) = 0,314l \quad (17)$$

$$t = \frac{v}{q} = \frac{0,314}{\frac{0,32}{60}} = 58,875 s \cong 60s = 1min \quad (18)$$

3.2.3.2. CONDUÇÃO INDIVIDUAL

Desta forma, quando apenas uma altura era selecionada a vazão medida na ponta da mangueira amentava para 3,2l/min. Logo, o tempo de sucção para cada

altura era feito com a amostra de ar presente no ponto médio da mangueira. Considerando o volume total de cada mangueira 0.314l (equação 17). Assim:

$$v = 0,314 \text{ l} \rightarrow \frac{v}{2} = \frac{0,314}{2} = 0,157 \quad (19)$$

$$t_2 = \frac{0,157}{3,2} = \frac{0,157}{\frac{3,2}{60}} = 2,94s \cong 03 \text{ s} \quad (20)$$

3.2.3.3.ESTABILIDADE DO SENSOR.

Os equipamentos de controle de fluxo (rotâmetro) apresentam perda de carga (impedância) muito grande nos sistemas que são inseridos. O rotâmetro é o equipamento responsável por manter o fluxo de ar constante dentro do analisador de gás, para o LI-COR840A o fabricante recomenda de 0,5 – 1 l/mim.

A associação de bombas em paralelo aumenta apenas a vazão do sistema, assim, para diminuir a perda de carga do sistema retirou o rotâmetro da linha de amostragem. Para que as leituras não sofressem influencia da variação do fluxo de vazão de ar, as bombas eram desligadas e após 02 segundos eram realizado a leitura no analisador de gás.

Para analisar a influência da ausência do rotâmetro controlando o fluxo de ar na entrada do analisador realizou-se o seguinte teste: Direcionou uma mistura de ar com concentração de 299,2 ppm, para o Analisador de gás LICOR 840A e com o rotâmetro instalado antes do analisador limitou-se a vazão em 01l/min. A pressão dentro do analisador foi mantida constante, por volta de 100kpa. Posteriormente a mesma mistura foi direcionada sem rotâmetro para o analisador de gás e as oscilações de vazão e pressão influenciavam no valor da concentração lida. Entretanto, quando o fluxo de ar era interrompido a pressão dentro da câmara levava de 0.5 à 01 segundo para estabilizar em 100kpa e a medida da concentração de CO₂ estabilizar no valor da mistura utilizada.

3.2.4. AFERIÇÃO DE PARÂMETROS E CALIBRAÇÃO DO SENSOR

3.2.4.1. CALIBRAÇÃO LICOR

Para calibrar o LI-COR 840A o equipamento foi ligado duas horas antes ao processo de calibração para entrar em equilíbrio de funcionamento. Para o CO₂ utilizou-se duas amostras de gases, um ausente de CO₂ (Nitrogenico) e outro com uma concentração conhecida de CO₂ (299,2ppm).

O *software* Li840A CO₂/H₂O Analyser V 2.0.1 (Compyright© 2010, LI-COR, Inc.) foi utilizado para calibrar o analisador de gás, primeiro foi ajustado o nível zero de CO₂. Para isso, o gás do cilindro de nitrogênio foi conduzido por um recipiente com *soda lime* – cal de soda (mistura de compostos químicos formado por hidróxido de cálcio Ca(OH)₂, água H₂O, hidróxido de sódio NaOH e hidróxido de potássio KOH) (MAGARELLI e FOSTIER, 2005) em seguida ao analisador de CO₂. Para o *Spam*, utilizou o cilindro contendo 299ppm CO₂. Após trinta minutos o processo de calibração foi refeito.

3.2.4.2. INTERVALO DE MEDIDAS

A aferição dos tempos de coleta exige que o sistema de perfil de CO₂ esteja pronto e funcionando com os valores de tempo aplicados no controle. Durante o iniciou da aspiração coletiva, foi introduzida em cada altura uma amostra de ar enriquecida com CO₂ de concentração com ordem de grandeza maior a encontra na atmosfera. O instrumento analisava todo o perfil e as concentrações das demais alturas não poderiam ser influência pela amostra enriquecida. Este processo repetiu em todas as alturas.

3.2.4.3. ANÁLISE DE VAZAMENTO

As conexões das válvulas solenoides, filtros, analisador de gás, rotâmetro e mangueiras, foram vedados com fita de politetrafluoretileno (*teflon*). Os diferentes materiais que compõem o sistema podem apresentar a dilatação térmica diferentes uns dos outros. Esse fato pode gerar contaminação entre das amostras. Para analisar possíveis pontos de vazamento entre as conexões, as 04 entradas de ar

foram inseridas em um recipiente com 05 kg de sílica e por um filtro com 450g de anidro sulfato de cálcio (Drierite®). E mantido em funcionamento por 01 dia. Neste teste foram utilizadas as leituras de vapor de H₂O medida pelo LICOR-840A.

3.3. ATUALIZAÇÃO DE COMPONENTES DO INSTRUMENTO APRIMORADO DE ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO₂

Após onze meses de funcionamento o relógio - RTC (real time clock) demonstrou problemas, e foi substituído por um SparkFun GPS Shield. Assim a data e hora passam ser atualizadas pelo novo equipamento. O SparkFun GPS Shield possui um receptor de GPS EM-506 com cabo de interface; é possível conectar múltiplos receptores de GPS ao escudo.

As conexões de engate rápido quando manuseadas de forma errada (retirar mangueira sem acionar a trava de segurança) apresentava folga na conexão e precisava ser substituída. Conseqüentemente, todas as conexões de engate rápido foram substituídas por conexões diretas (FIGURA 9).



FIGURA 9: À direita a conexão lisa de engate direto. À esquerda a conexão de engate rápido.

O ar presente nas mangueiras que unem o analisador de gás e o manifold é o único ponto onde as amostras de ar podem se misturar. Logo, é preciso que todo o ar que ocupa esta região saia para que a nova amostra de ar ocupe o lugar. Por

essa razão, o caminho entre analisador de gás e o manifold deve ser o menor possível. Assim, o manifold foi deslocado para o abrigo do analisador de gás.

Uma válvula de fluxo bidirecional foi adicionada ao instrumento para direcionar o fluxo para fora do analisador de gás, quando novas amostras eram realocadas nas mangueiras; e para o analisador de gás quando as alturas eram selecionadas.

Para diminuir o tempo total de coleta de dados e melhorar o consumo de energia (diminuir a partida dos motores) o rotâmetro foi novamente instalado na entrada do analisador de gás. A vazão controlada pelo rotâmetro é apenas da altura a ser analisada.

Contudo, foram somados ao instrumento dois botões: uma para deligar o Raspberry Pi3 e outro pra desligar a energia das válvulas e bombas, além de um dispositivo de proteção de sobre corrente de 05A.

O novo diagrama elétrico (FIGURA 10) do sistema de controle manteve sua estrutura de desenvolvimento em módulos. No núcleo de processamento conservou o Raspberry pi3 e substituiu o RTC DS3231 pelo modulo SparkFun GPS Shield. Os acionadores de potência foram mantidos os mesmos.

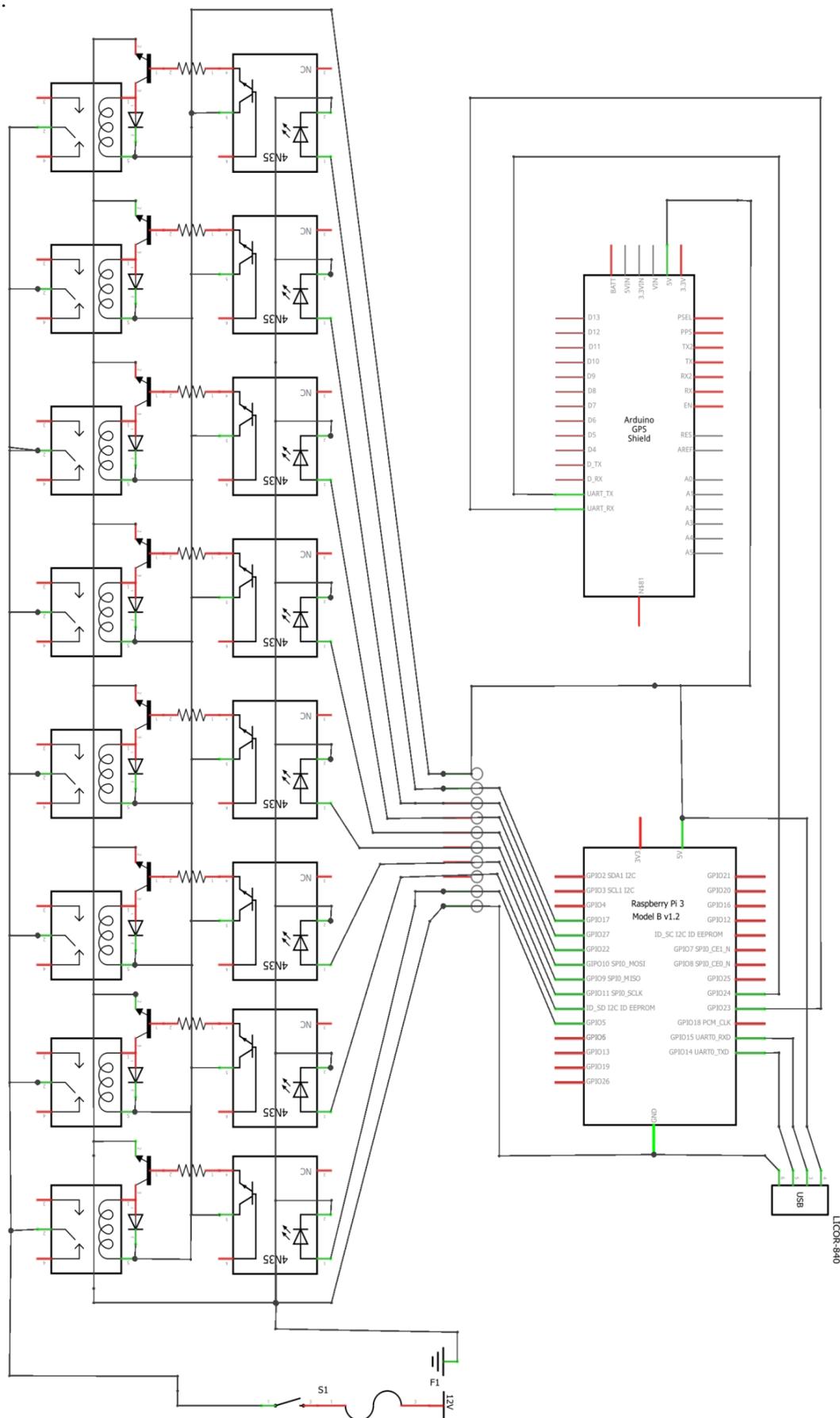


FIGURA 10 - Diagrama elétrico do sistema de controle. 1- Modulo rele; 2 Raspberry pi3; GPS e Conector USB LICOR- 840A

3.3.1. ATUALIZAÇÃO DE ARQUITETURA

As atualizações dos componentes pouco alteraram o desenvolvimento do instrumento. Desta vez o funcionamento do instrumento ocorreu da seguinte maneira:

Passo 01: A válvula de fluxo direcional era voltada para fora do analisador de gás, o as válvulas solenoides eram todas abertas e as minibombas de vácuo ligada. Após todo o ar das mangueiras (4x25m) serem trocado as válvulas eram fechada e as mini bombas desligadas mantendo as amostras de ar dentro dos dutos;

Passo 02: A válvula de fluxo direcional era voltada para o analisador de gás, a válvula correspondente à altura a ser analisada era aberta e o conjunto de minibombas ligado. Quando a amostra, posicionada no ponto médio da mangueira - 12,5m, chegava no analisador de gás realizava-se a leitura da concentração de CO₂ e armazenava-a. O passo 02 era repetido até que todas as alturas fossem analisadas. O passo 01 iniciava a cada 05 minutos.

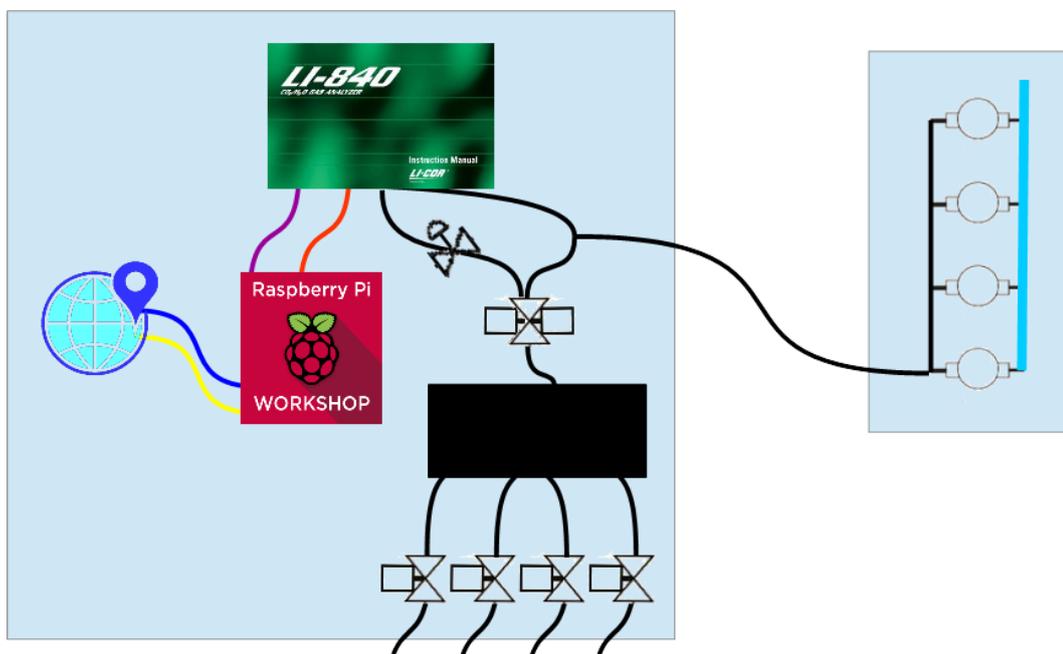


FIGURA 11 - Novo arranjo do instrumento de análise de perfil vertical de CO₂. No lado esquerdo o quadrado em azul representa o abrigo contendo: analisador de gás (LI-840A); datalogger (microcomputador – Raspberry P13); GPS (sparkfun); manifold; válvulas solenoides; rotâmetro; filtro e as mangueiras.

3.3.2. ATUALIZAÇÃO DE SOFTWARE

A nova rotina de controle e armazenamento utilizou toda a arquitetura criada na alteração do sistema. Apenas foram alteradas algumas linhas nos scripts: passo1.py; passo2.py; passo3.py; passo4.py; e passo5.py (Apêndice D).

3.3.3. ATUALIZAÇÃO DO INTERVALO DE MEDIDA

O conjunto de sucção composto por bombas de vácuo manifold e as quatro válvulas foram mantida da primeira atualização. Sendo assim, os tempos para a coleta simultânea de amostras e para a condução individual de cada altura até o analisador de gás foram mantidos. Com a inserção do rotâmetro o fluxo de ar foi controlado dentro do analisador e descartando o tempo de estabilidade do sensor.

3.4. DADOS UTILIZADOS

O conjunto de dados utilizados para análise do perfil e cálculo do estoque de CO₂ no dossel foram composto pelos dados coletados com o INSTRUMENTO de ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO₂, (OLIVEIRA, 2016), de 01/01/2016 até 07/11/2016, concatenados aos dados coletados a partir de 03/12/2016 até 31/12/2017 pelo instrumento alterado e atualizado. Os dados foram organizados em uma única matriz e emparelhados com dados micrometeorológicos de temperatura, umidade relativa, radiação solar global, precipitação e O₂ dissolvido no solo.

3.4.1. ESTOQUE DE CO₂ NO DOSEL

O armazenamento de CO₂ no dossel foi calculado considerando o ponto abaixo do dossel a 1,05m (devido a sazonalidade de inundação da área a cota não pode ser menor) e o mais alto 18,30 (altura da torre onde estava instalado o Eddy covariance). A equação utilizada foi:

$$S_{P1} = \left[\left(\frac{X_1 + X_2}{2} \right) * (Z_2 - Z_1)_{t+1} \right] + \left[\left(\frac{X_3 + X_3}{2} \right) * (Z_3 - Z_2)_{t+1} \right] + \left[\left(\frac{X_3 + X_4}{2} \right) * (Z_4 - Z_3)_{t+1} \right] \quad (21)$$

$$S_{P2} = \left[\left(\frac{X_1 + X_2}{2} \right) * (Z_2 - Z_1)_t \right] + \left[\left(\frac{X_3 + X_3}{2} \right) * (Z_3 - Z_2)_t \right] + \left[\left(\frac{X_3 + X_4}{2} \right) * (Z_4 - Z_3)_t \right] \quad (22)$$

$$S_{P3} = \frac{S_{P1} - S_{P2}}{30 * 60} \quad (23)$$

$$S = M \times 1000 \times S_{P3} \quad (24)$$

Onde, $X \left[\frac{mg}{m^3} \right]$ é a concentração de CO₂ [ppm] na altura Z [m] multiplicado por 1,964. M é a massa molecular do CO₂ (44). S o estoque de CO₂ dentro do dossel [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]. As constantes 30 e 60, na terceira parte, é referente á transformação do tempo de leituras (T = 30 minutos) de minuto para segundo. Os parâmetros pode ser melhor visualizados na FIGURA 12.

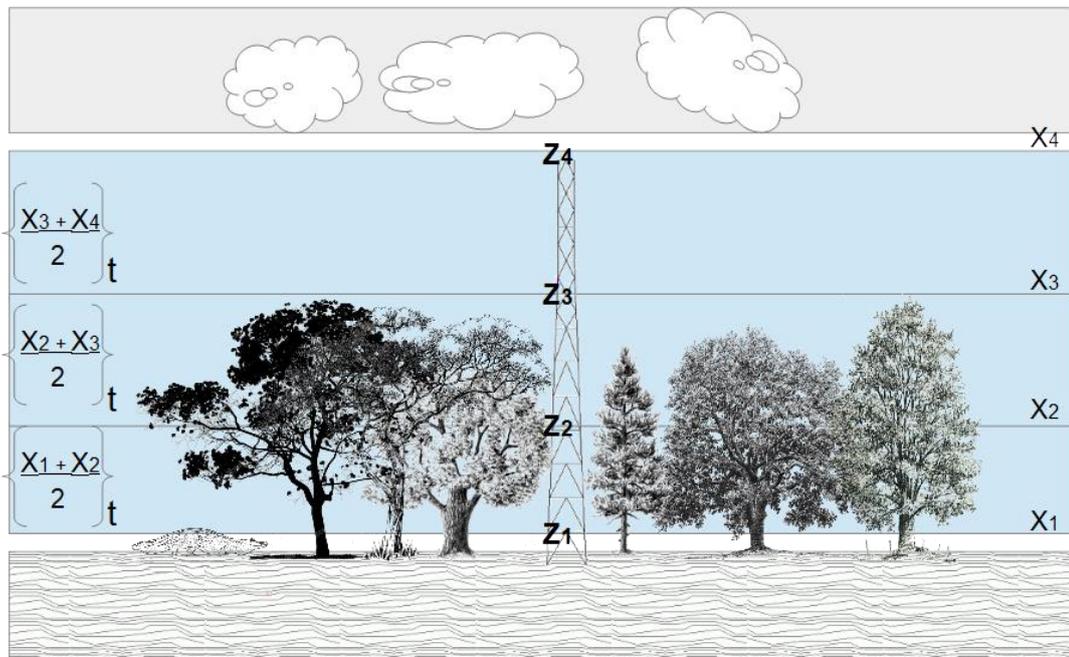


FIGURA 12- Representação o dossel do pantanal. Z é a distancia [m] até o solo; X e a concentração de CO₂[ppm] na altura Z.

3.4.2. ANÁLISE DO DIA MÉDIO DO MÊS

Os dados emparelhados descrito na seção anterior foram agrupados em medias de cada meia hora de todos os dias do mês, ou seja, o mês passa a ser representada em um único dia, com valores a cada meia hora. Junto a média foi calculado o intervalo de confiança da média.

3.5. EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO DE DADOS

A análise da eficiência de produção de dados foi dividida em três partes. Primeiro buscou encontrar a eficiência de produção total: quantidade de dados possíveis de ser produzido dividido pelos dados produzidos; a segunda parte é a razão entre os dados possíveis de serem produzidos pelos dados utilizados; por fim, os dados produzidos pelos aproveitados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. NOVO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO₂

O novo instrumento de perfil de CO₂ (FIGURA 13) resultou em um sistema modular e seus componentes não necessitaram de serem unidos por soldadas, tornando a manutenção do instrumento dinâmica, resumindo-a em substituir os módulos (componentes), o que prolonga o tempo da pesquisa deixando-a autônoma.

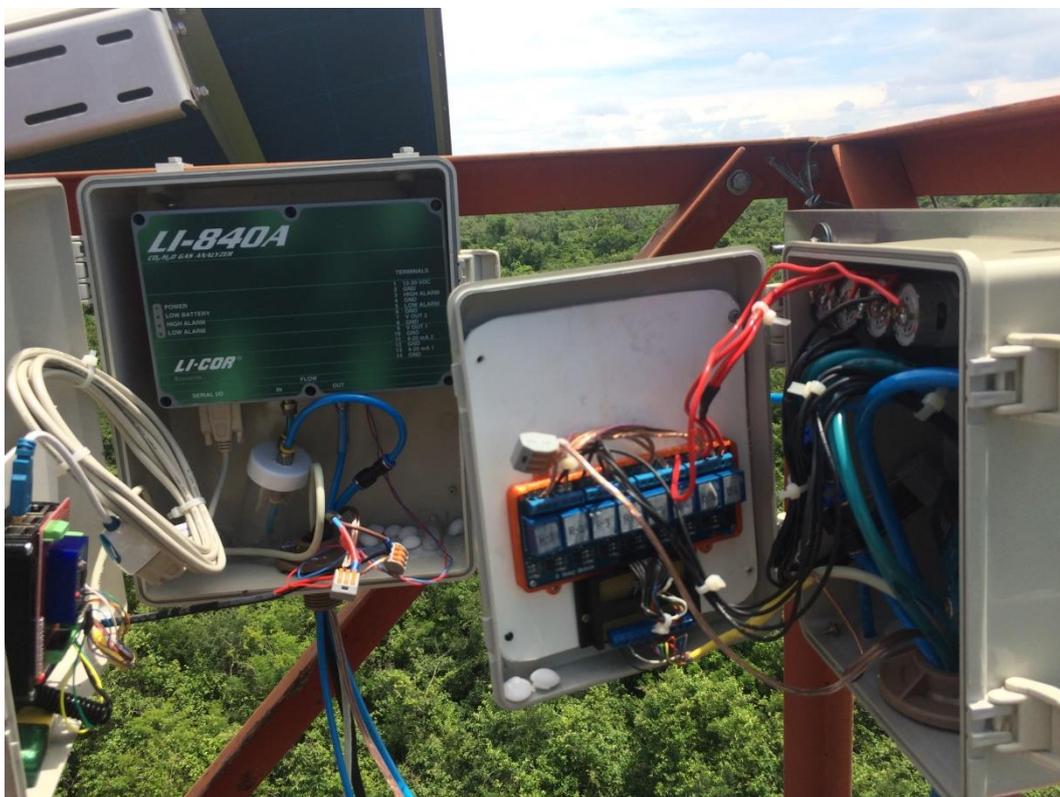


FIGURA 13: Novo Instrumento De Análise de Perfil Vertical de CO₂À esquerda o abrigo com os componentes eletrônicos e a direita o abricó dos componentes eletromecânicos.

4.2. ATUALIZAÇÃO De COMPONENTES

A atualização do sistema de perfil de CO₂ (FIGURA 14) só foi possível devido às características modular do sistema, sem necessidade de soldas. A substituição do RTC por um GPS diminui mais uma operação de manutenção, uma vez que o RTC exige que a bateria seja substituída e o GPS não utiliza bateria.

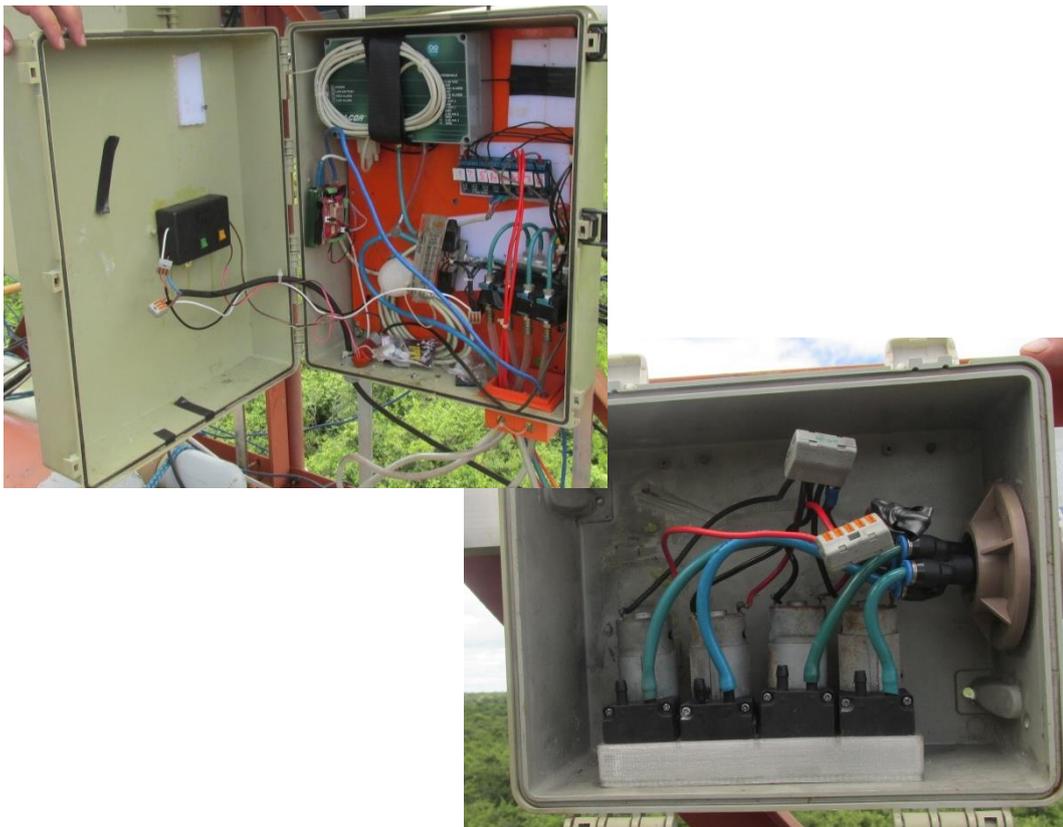


FIGURA 14- Atualização do Instrumento de Análise de Perfil Vertical De CO₂. À esquerda abrigo com os componentes eletrônicos, manifold, válvulas solenoides. À direita o conjunto de bombas de vácuo.

4.3. DADOS MICROMETEOROLÓGICO

Os fatores climáticos que ocorreram durante o período de coleta de dados apresentaram padrões de variabilidade sazonal, influenciada pelo ciclo anual do ângulo solar. A precipitação anual acumulada, no local de estudo, manteve maior que 1200 mm (Tabela 1) durante os dois anos estudados. Estes dados são compatíveis com a literatura de estudos realizados no mesmo sítio de pesquisa.

Tabela 1 - Sumario climatológico para Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN SESC – Pantanal, com dados de 2016 e 2017.

	2016						2017			
	Aeróbico		Anaeróbico		Aeróbico		Anaeróbico		Aeróbico	
	Data		Data		Data		Data		Data	
Tempo de Inundação (d)	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
	-	<u>3/2</u>	<u>4/2</u>	<u>20/6</u>	<u>21/6</u>	<u>17/11</u>	<u>18/11</u>	<u>24/6</u>	<u>25/6</u>	-
		2016	2016	2016	2016	2016	2016	2017	2017	
			181					175		
Temperatura (°C)	26,5		23,47		25,12		25,77		24,72	
Radiação Solar (MJ m ⁻² d ⁻¹)	16,68		18,39		17,14		18,21		18,81	
Precipitação (mm ^{-ano})	342,36		1116		429		835,70		408,30	

O ano de 2017 obteve 20% menos precipitação em comparação com o ano anterior. Entretanto, teve um período de solos encharcados mais longo. Fraga. (2009), para o mesmo local de estudo, ponderou que os maiores índices de precipitação ocorrem nos meses de novembro, dezembro e janeiro; com precipitação acumuladas nestes meses podendo chegar a 67% da precipitação anual. Assim, a precipitação que ocorre no final da primavera e verão (para o hemisfério sul) apresenta influencia no tempo da inundação do próximo ano. Dalmagro et al (2018) em experimento, também na RPPN-SESC Pantanal, divulgou que os dias de inundação foram: 121(2013) 160(2014) e 193(2015) dias.

É possível destacar uma diminuição da temperatura do ar nos meses de solo sem inundação. Isto está relacionado com a menor disponibilidade de água no ar, diminuindo a condutividade térmica do ar. Este fato foi apontado por Carvalho (2013), em seu estudo do fluxo de CO₂ e do estoque de carbono do solo no mesmo sitio experimental deste trabalho.

4.4. ANÁLISE DO PERFIL

Os dados de concentrações coletados a cada 05 minutos a 1.05m, 3.35m, 7.35m e 18.34m foram agrupados em médias horarias (a cada 30 minutos) mensais e dispostas no gráfico do perfil vertical de CO₂ (FIGURA 15 **Erro! Fonte**

de referência não encontrada.). O gráfico é dividido em período Aeróbico e Anaeróbico (em verde). Os maiores valores de concentração de CO₂ foram obtidos para os meses em que se iniciaram as precipitações (FIGURA 15**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Em 2016 ocorreu em outubro, com precipitação acumulada maior que 150mm. Entretanto, com o decorrer do período das águas as concentrações assumem valores mais baixos. Chambers *et al.*, 2004, atribui os valores mais baixos na estação com mais água, a saturação do solo, que limitou a difusão do CO₂.

O início das estações aeróbicas ocorreu no mês de junho para os dois anos estudados e apresentam comportamentos diferentes. Para 2016 a tendência foi aumentar a concentração ao decorrer dos meses até a estação anaeróbica. Já para 2017 aconteceu o oposto. Essas diferenças podem ocorrer devido a vários fatores ambientais: a espessura da serapilheira, o teor de matéria orgânica e a umidade do solo. O ano de 2016 registrou maior precipitação durante a estação aeróbica principalmente nos meses de agosto e outubro, mantendo a umidade do solo por mais tempo, favorecendo o desenvolvimento biótico do solo e a respiração do ecossistema. Raich e Schlesinger (1992) descrevem a respiração das raízes e microrganismos responsáveis pela decomposição do material orgânico, e a respiração do solo pode chegar a 80% da respiração do ecossistema.

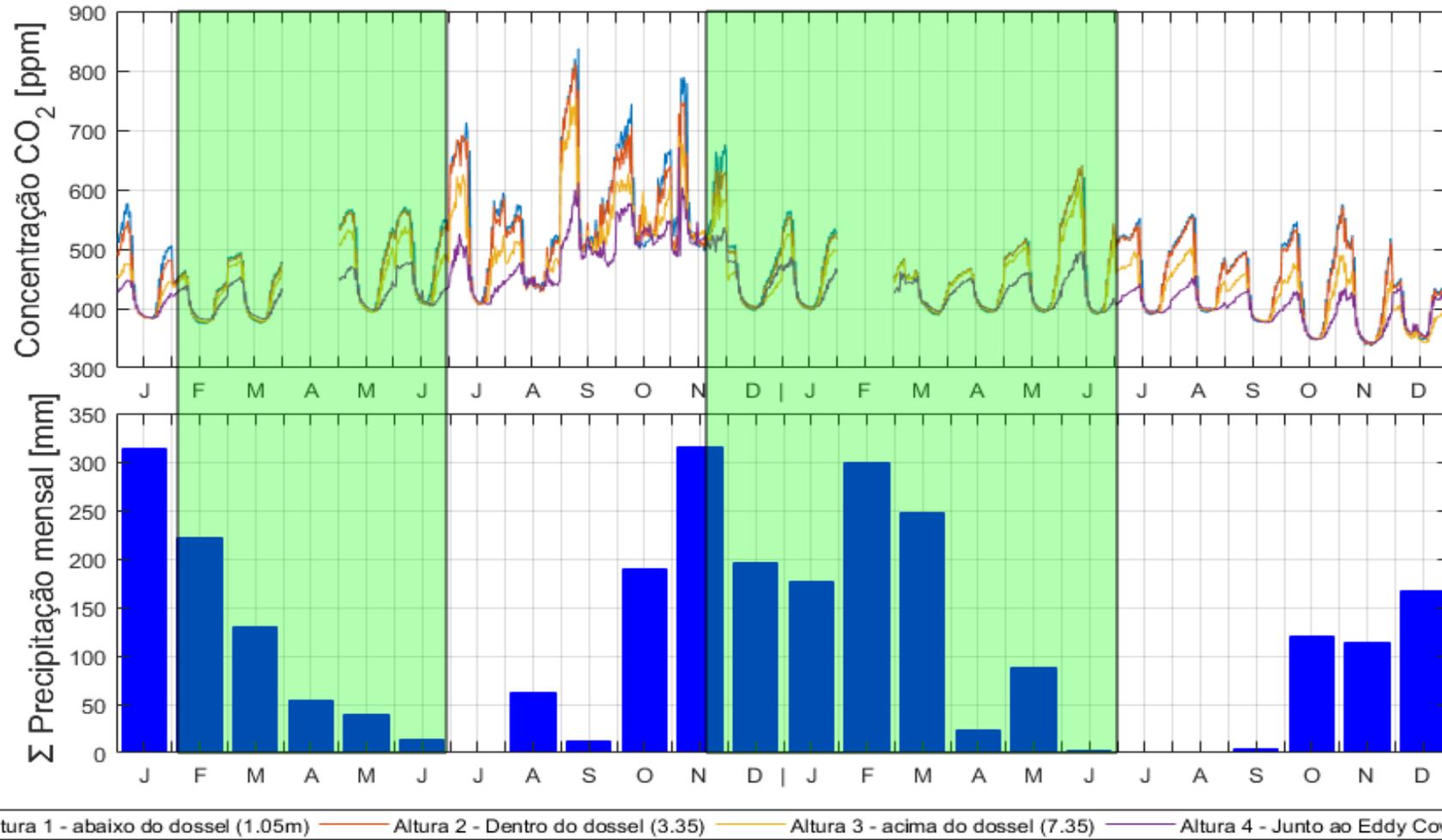


FIGURA 15 - Perfil vertical do CO₂. No fundo em verde o solo encontra-se anaeróbico o restante é aeróbico. Altura 01: 1.05m; Altura 02: 3.35m; Altura 03: 7.35m e Altura 04: 18.34m.

O perfil vertical médio (FIGURA 16 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) das concentrações apresenta diferença para solo anaeróbico e aeróbico. Sendo para solos anaeróbicos menor do que em solos aeróbicos, isso para 2016; e o oposto para 2017. Araujo, (2009) encontrou valores noturnos de concentração de CO₂ menores no período úmido do que no período seco em uma área de floresta de terra firme na Amazônia central.

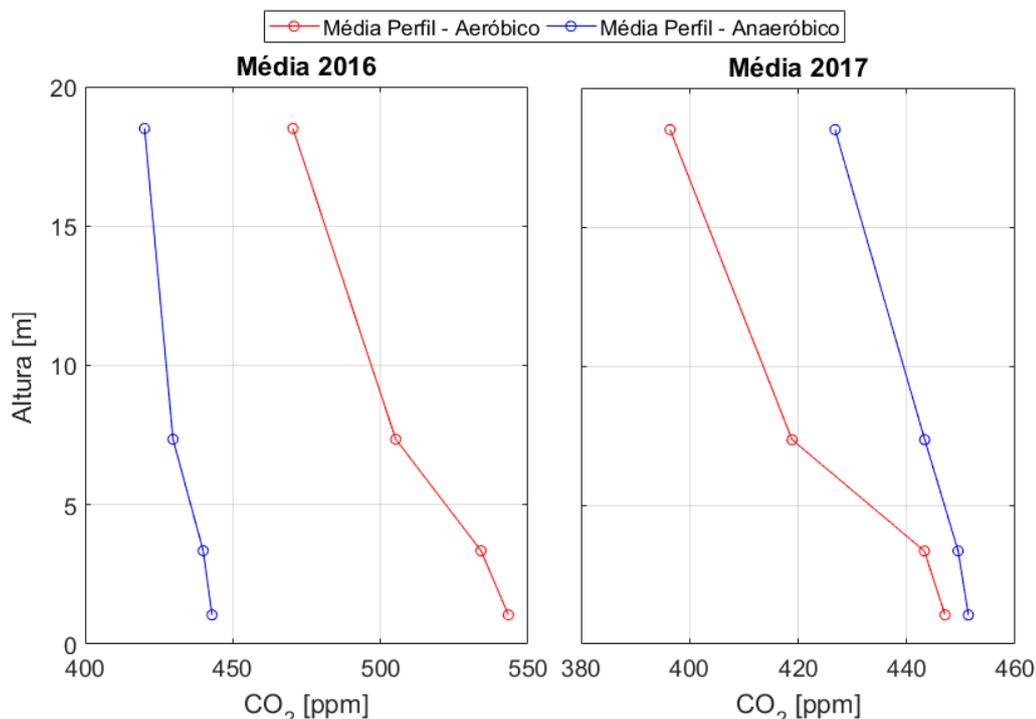


FIGURA 16 - Perfil vertical médio para os anos de 2016 e 2017 separados entre as estações anaeróbica e aeróbica.

Durante o período de análise de perfil vertical de CO₂ verificou-se que no período noturno a concentração de CO₂ é maior que do que durante o dia, com valores máximos próximos à superfície e diminuindo com a altura (FIGURA 17). É possível destacar, que os valores máximos de cada altura ocorrem durante a madrugada; seguido por um declínio abrupto dos dados com o amanhecer Grace et al. (1996) e Malhi et al. (1998) explicam que esse comportamento ocorre devido à baixa turbulência durante a noite, um provável resultado da estabilidade da atmosfera, quando a fonte principal de CO₂ é a respiração do solo (MEIR *et al*, 1996) e das plantas.

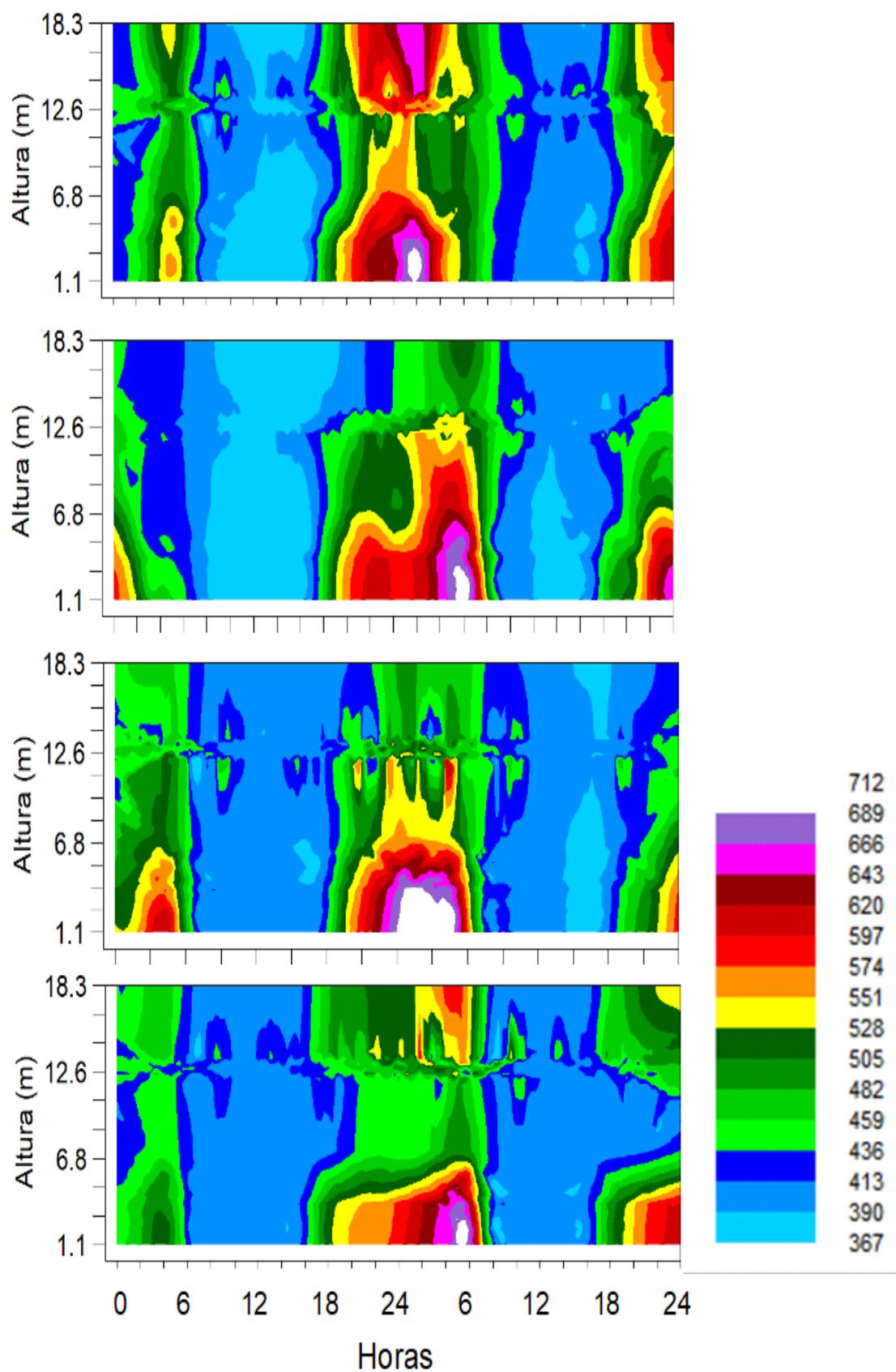


FIGURA 17 - Comportamento do perfil vertical de CO₂. Cada gráfico é composto por 02 dias de dados do perfil composto por 04 alturas, a cada 30 minutos. O primeiro é entre os dias 18 e 19 de março - estação Anaeróbica 2016. O segundo de 22 a 23 de agosto - estação aeróbica 2016. O terceiro de 01 a 02 de abril - estação anaeróbica 2017. E o quarto de 19 a 20 de agosto - estação aeróbica 2017.

Souza Filho *et al.* (2005) apontou que nos meses menos chuvoso, o consumo de CO₂ pelo processo da fotossíntese é maior, influenciada pela abertura estomática e pela convecção devido ao aumento da temperatura no perfil do dossel vegetativo. A média das temperaturas para o período anaeróbico de 2016 foi a menor, tal fator pode ter sido preponderante para diminuir o processo de fotossíntese e conseqüentemente aumentar a concentração de CO₂.

4.5. ESTOQUE DE CO₂ NO DOSSSEL

Em geral, o estoque de CO₂ no dossel (S) apresentaram tendências horárias, com um pico negativo durante as primeiras horas da manhã (FIGURA 18) que diminui até o final da tarde. Durante a noite os valores passam a ser positivo. Estoque positivo indica que o ecossistema está fornecendo CO₂, porém esta afirmação só é precisa quando incorpora ao estudo os dados de fluxo vertical turbulento. Padrões semelhantes a este foram descritos para florestas tropicais úmidas por Silva, (2010); entretanto, os valores diurnos foram mais expressivos, com mínimos próximos a 30 μmol m⁻² s⁻¹.

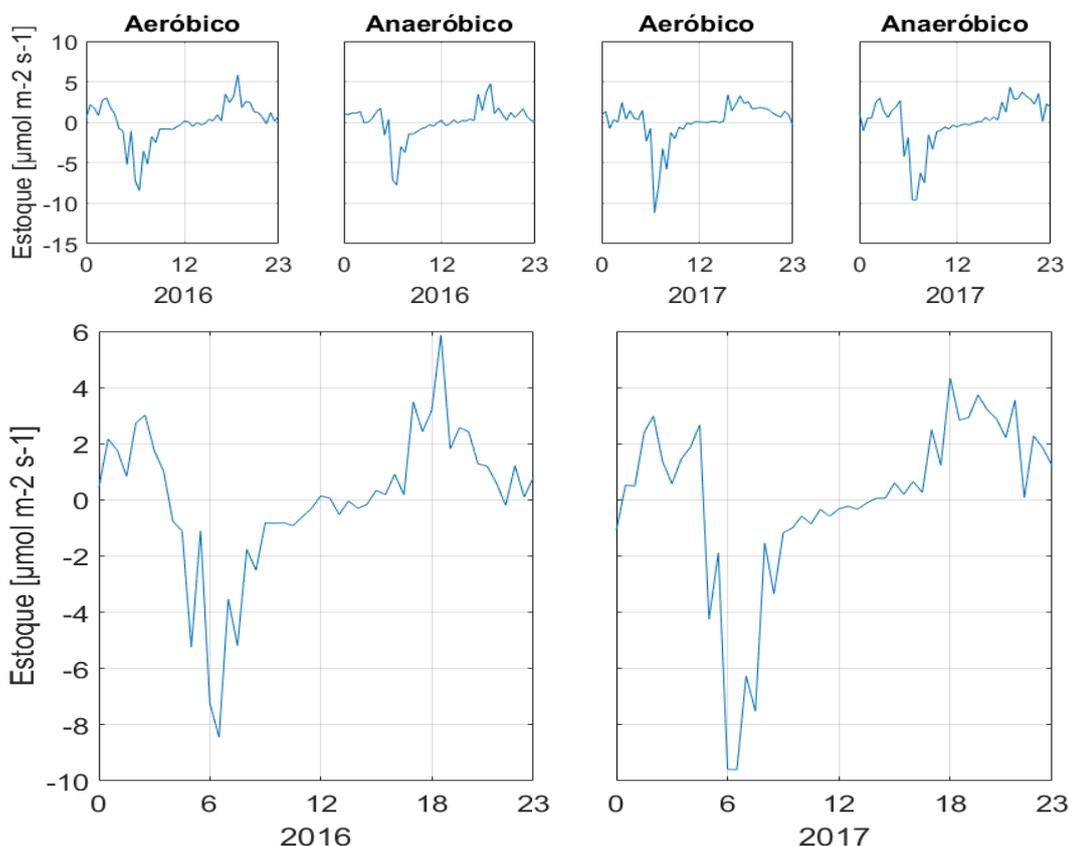


FIGURA 18 - Superior: Médias mensais de 30 minutos mensais do Estoque de CO₂ nos períodos de solo anaeróbico e aeróbico para os anos de 2016 e 2017. Inferior: Médias mensais de 30 minutos mensais do estoque de CO₂ para os anos de 2016 e 2017.

Nos períodos de solo aeróbicos o ecossistema apresentou um estoque de CO₂ superior aos períodos de solos anaeróbicos. Este fato também foi destacado nos trabalhos de: ARAÚJO *et al.* (2010) que verificou maiores valores de estoque durante a estação seca para duas áreas com topográficas distintas localizadas em área de floresta tropical na Amazônia central a 60km de Manaus. Silva, (2010) também reportou valores maiores de estoque na estação seca em um ecossistema de transição entre os biomas Cerrado e a Amazônia situada a aproximadamente a 50 km de Sinop.

4.6. EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO DE DADOS

4.6.1. INSTRUMENTO DE ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO₂ (OLIVEIRA, 2016)

O INSTRUMENTO de ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO₂ (OLIVEIRA, 2016) coletou dados de dezembro de 2015 até novembro de 2016. Foram registrados 44698 linhas de dados contendo informações: de data e hora; temperatura e umidade relativa (do equipamento); tensão da bateria e da rede elétrica; perfil de CO₂ e o perfil de H₂O em quadro pontos. O equipamento deveria ter gerado em torno de 93864 linhas de dados, Logo, a eficiência de produção de dados do equipamento foi de 47,61%. De todas as linhas de dados coletados, foram utilizadas 41493 linhas de dados, um aproveitamento de 92,82%. Entretanto, a eficiência de produção de dados efetivos foi de 44,20%.

A baixa eficiência de produção dos dados está relacionada basicamente a dois problemas: primeiro, um problema físico (de *hardware*) uma trinca na solda da placa de distribuição de tensão e o segundo problema esta relacionado à arquitetura da placa Arduino Yun (microcontrolador ATmega32u4 e microprocessador Atheros AR9331). A provável causa da trinca está relacionado as vibrações produzidas pelos motores das bombas de sucção. Já o problema do microcontrolador ATmega32u4 está atrelado ao tempo de inicialização diferente entre o microprocessador e o Atheros AR9331, com menor tempo para o microcontrolador. Assim quando o processo de coleta de dados iniciava e o Arduino executava a função `ler_li840()` que estava no Linux (OpenWrt - Linino

OS) o sistema travava, pois o OpenWrt - Linino OS não havia inicializado completamente. Quando apenas o microcontrolador ATmega32u4 era reinicializado (manualmente) o sistema funcionava normalmente, uma vez que o OpenWrt - Linino OS já havia inicializado.

4.6.2. NOVO INSTRUMENTO ANÁLISE DE PERFIL VERTICAL DE FLUXO DE CO₂

O instrumento de análise de perfil vertical de fluxo de CO₂ e H₂O, com as atualizações, coletaram dados de dezembro de 2016 até abril de 2018. Foram registados 99682 linha de dados contendo informações: de data e hora; perfil de CO₂ em quadro pontos **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Todas as linhas de dados coletados foram utilizadas, um aproveitamento de 100%. Entretanto, o equipamento deveria ter realizado 141.413, assim, a eficiência de produção de dados do equipamento e a eficiência de produção de dados efetivos foram foi de 70,49%. A eficiência não foi maior devido a uma perda de dados pós-produzidos. A principal falha do equipamento foi causada por problemas no relógio RTC (DS3231).

O custo das atualizações do sistema de análise de perfil atmosférico de CO₂ e H₂O foi menor que o sistema criado em 2015. Para o primeiro sistema o custo total era de R\$25,097.45. A alteração reduziu o custo para R\$21,445.21 (APÊNDICE E); ou seja, uma redução de 15%; na atualização o custo foi de R\$22,015.92 (APÊNDICE F), mantendo ainda um custo 12,2% menor que o desenvolvido em 2015. Algumas peças foram prototipadas no laboratório de instrumentação em Física Ambiental e não apresentou custo ao projeto. Os conhecimentos absorvidos no processo somado ao difundido com este trabalho é um valor inestimável (LEONARD, 1995).

5. CONCLUSÕES

A alteração e as atualizações no instrumento de análise de perfil vertical de CO₂ instalada no norte do Pantanal Mato-grossense trouxeram estabilidade na produção e armazenamento dos dados.

A nova arquitetura do instrumento permite atualiza-lo com poucas horas trabalhada. A manutenção do equipamento pode ser realizada no campo sem a necessidade de unir os componentes com soldas.

O relógio RTC DS3231 não funcionou como o esperado quando submetido a trabalho fora do laboratório.

A troca do Arduino pelo Raspberry, além de diminuir o custo do instrumento elevou a eficiência dos dados produzidos.

Durante os anos analisados, foi possível verificar comportamentos distintos entre os anos de 2016 e 2017, principalmente no que se refere à precipitação.

A concentração de CO₂, ao longo do perfil vertical do dossel diminuiu durante o dia e principalmente após as primeiras horas da manhã. A concentração de CO₂ é maior próximo ao solo e diminui à medida que se afasta do solo.

O estoque de CO₂ no dossel foram superiores no período de solos aeróbicos. A dinâmica diária, mensal e sazonal no comportamento do estoque foi verificada em estudos realizados em ecossistemas da região Amazônica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, CARLOS EDUARDO; RUBINI, GUSTAVO. **A Aerodinâmica Da Bola De Futebol**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 4, p. 297-306, 2004.

AGUILAR, R. B. **Perfil Vertical De CO₂ E Seu Fluxo Do Solo Em Mata Nativa, Floresta De Araucária, Seringal E Pastagem**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de PósGraduação em Fitotecnia, para obtenção do título de “Magister Scientiae”. Viçosa, 2001

ALHO, C. J. R. **Biodiversity Of The Pantanal: Response To Seasonal Flooding Regime And To Environmental Degradation**. Brazilian Journal of Biology, 68(4):957–966, 2008.

ANTHONI, P. M.; LAW, B. E.; UNSWORTH, M. H. **Carbon and water vapor exchange of an open-canopied ponderosa pine ecosystem**. Agricultural and Forest Meteorology. v. 95, p. 151-168, 1999

ARAÚJO, A. C., *et al.* **Comparative Measurements Of Carbon Dioxide Fluxes From Two Nearby Towers In A Central Amazonian Rainforest**. The Manaus LBA site, Journal of Geophysical Research, 107(D20), 8090, doi: 10.1029/2001JD000676, 2002.

ARAÚJO, I. B. Q. *et al.* **Desenvolvimento de um protótipo de automação predial/residencial utilizando a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino**. João Pessoa. Setembro, 2012.

ARAUJO PANTOJA, PATRÍCIA. **Aplicação Da Espectroscopia De Infravermelho Próximo Na Caracterização Da Carga De Petróleo Para O Processo De Destilação Atmosférica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

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

ARRUDA, P. H. Z. **Dinâmica Das Trocas De Massa E Energia Em Região De Cerrado Na Baixada Cuiabana**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2014.

ARYA, S. P. **Introduction To Micrometeorology**. San Diego: Academic, 1988, 307p

ASSAD, E.; PINTO, H.S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. 2008. Disponível em: http://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/CLIMA_E_AGRICULTURA_BRASIL_300908_FINAL.pdf . Acessado em 01/09/15.

AUBINET, Marc; VESALA, Timo; PAPALE, Dario (Ed.). **Eddy covariance: a practical guide to measurement and data analysis**. Springer Science & Business Media, 2012.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARRETO, LUCIANO VIEIRA; FREITAS, ANDRÉIA CRISTINA SANTOS; PAIVA, LÍGIA CARDOSO. **Sequestro de carbono**. Goiânia: Centro Científico Conhecer, 2009.

BASSO, MARQUES JOÃO. **Desenvolvimento De Sistema Para Monitoramento E Aquisição De Dados Microclimáticos Utilizando O Programa Epics / Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2016.**

BIUDES, M.S. **Balço de Energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do Pantanal**. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em

Agricultura Tropical) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

BOÇON, F. T. **Modelagem matemática do escoamento e da dispersão de poluentes na microescala atmosférica.** Doctoral dissertation, Universidade Federal De Santa Catarina, 1998.

BROOKS, DAVID R., E FORREST M. MIMS. **Desenvolvimento De Um Dispositivo Portátil De Baixo Custo Baseada Em Led Fotômetro Sun Para O Programa GLOBE.** *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*106.D5 (2001): 4733-4740, 2001.

BUCHMANN, N.; EHLERINGER, J. R. **CO₂ concentration profile, and carbon and oxygen isotopes in C₃ and C₄ crop canopies.** *Agricultural and Forest Meteorology.* v. 89, p. 45-58, 1998.

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).

CARVALHO, P. V.; **Estudo do fluxo de CO₂ e do estoque de carbono do solo em área de interflúvio no pantanal município de Poconé Mato Grosso. . Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2013.**

CAVALCANTE, MARISA ALMEIDA; TAVOLARO, CRISTIANE RODRIGUES CAETANO; MOLISANI, ELIO. **Física Com Arduíno Para Iniciantes.** *Revista Brasileira de Ensino de Física,* v. 33, n. 4, p. 4503, 2011.

CHAMBERS, J. Q.; TRIBUZY, E. S.; TOLEDO, L. C.; CRISPIM, B. F.; HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; DE ARAÚJO, A. C.; KRUIJT, B.; NOBRE, A. D.; TRUMBORE, S. **Respiration from a tropical forest ecosystem: partitioning of sources and low carbon use efficiency.** *Ecological Applications,* v. 14, p.S72–S88, 2004.

CLARK, DARREN A., AND PAUL R. NORRIS. **Acidimicrobium Ferrooxidans Gen. Nov., Sp. Nov.: Mixed-Culture Ferrous Iron Oxidation With Sulfobacillus Species.** *Microbiology* 142.4 (1996): 785-790.

CORINGA, E. de A. O.; COUTO, E. G.; PEREZ, X. L. O.; TORRADO, P. V. 2012. **Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense.** *Acta Amazônica*, v. 42, n. 1, p. 19-28.

COUTO, E. G.; CHIG, L. A.; NUNES DA CUNHA, C.; LOUREIRO, M. F. **Estudo sobre o impacto do fogo na disponibilidade de nutrientes, no banco de sementes e na biota de solos da RPPN SESC Pantanal.** Serviço Social do Comercio, Departamento Nacional, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 56P., 2006.

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.

DALMOLIN, C., DE ALMEIDA LOBO, F., VOURLITIS, G., SILVA, P.R, DALMAGRO, H. J. , ANTUNES, M. Z. , E ORTÍZ, C. E. R. (2015). **A estação seca é um importante impulsionador da fenologia e do crescimento de duas espécies brasileiras de cerrado com hábitos foliares contrastantes ?.** *Ecologia vegetal* , 216(3), 407-417.

DONN, William , **Meteorologia**, Editorial Reverte, Barcelona 1978.

FINNIGAN JJ, CLEMENT R, MALHI Y, LEUNING R, CLEUGH HA (2003) **A re-evaluation of long-term flux measurement techniques, Part I: averaging and coordinate rotation.** *Bound Layer Meteorol* 107:1–48.

FOX, R. W. e MCDONALD, A. T.. **Introdução à Mecânica dos Fluidos.** Ed. Guanabara Koogan S.A, Rio de Janeiro, 4a. ed, 1995.

FRAGA, C. I. M. **Evapotranspiração e fator de desacoplamento em área decambarazal no Pantanal**. 2009, 56f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Física, Universidade federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

GALLON, MÁRCIA MARTIM PEREIRA; SANCHES, LUCIANA and PAULO, SERGIO ROBERTO DE. **Fluxo e perfil de CO₂ no dossel uma floresta tropical de transição amazônica**. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21.3 (2006): 79-88.

GALZERANO, L., MALHEIROS, E. B., MORGADO, E. S., RUGGIERI, A. C. - **Emissão De Co₂, Características Do Dossel E Acúmulo De Forragem Em Pastos De Capimpensacola Sob Frequências De Desfolhação**. *Cienc. anim. bras.*, Goiânia, v.15, n.2, p. 138-144, abr./jun. 2014

GARRISON, J. D., AND S. B. W. ROEDER. Section 73.1: **Meteorological measurement**. In **The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook**. J. G. Webster, ed. New York, N.Y.: Springer, 1999.

GIONGO, V *et al.* **Carbono No Sistema Solo-Planta No Semiárido Brasileiro**. *Revista Brasileira de Geografia Física*. Recife, v4 n. 6, p.1233-1253, 2011.

GRACE, J., MAHLI, Y., LLOYD, J.*et al.* **The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake of Brazilian rain forest**. *Global Change Biology* 2, 209–217, 1996.

GRACE, J.; LLOYD, J.; MCINTYRE, J.; MIRANDA, A.; MEIR, P.; MIRANDA, H.; MONCRIEFF, J.; MASSHEDER, J.; WRIGHT, I.; GASH, J. **Fluxes of Carbon-Dioxide and Water-Vapor over an Undisturbed Tropical Forest in South-West Amazonia**. *Global Change Biology*, 1: 1-12, 1995.

Graham, EA, Mulkey, SS, Kitajima, K., Phillips, NG e Wright, SJ (2003). **A cobertura de nuvens limita a absorção líquida de CO₂ e o crescimento de uma árvore da floresta tropical durante as estações chuvosas tropicais**. *Proceedings da Academia Nacional de Ciências* , 100 (2), 572-576.

HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J. & MELACK, J.M. **Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing.** Archive für Hydrobiologie, v.137, n.1, p.1-23, 1996.

HARMSEN, H. **Company Competencies As A Network: The Role Of Product Development.** The Journal of Product Innovation Management. v.17, n.3, p.194-207, May, 2000.

HARRIS, DANIEL C. **Análise Química Quantitativa.** 5. ed.: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1999.

HOUGHTON, R. A. **As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais.** In: EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994.

INOUS E. **CO₂ – Concentration Profile Within Crop Canopies And Its Significance To The Productivity Of Plant Communities.** UNESCO/AVS/NR/144 Copenhagen Symposium Paper No. 22 Pais, 21 July 1965.

JOHNSON, M. A.; TOMAS, W.O.M.; GUEDES, N.M.R. **On The Hyacinth Macaw's Nesting Tree: Density Of Young Manduvis Around Adult Trees Under Three Different Management Conditions In The Pantanal Wetland, BRAZIL.** Revista Brasileira de Ornitologia-Brazilian Journal of Ornithology, v. 5, n. 7, p. 4, 2013.

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.

JUNK, W. J.; NUNES DA CUNHA, C. **Pantanal: a large South American wetland at a crossroads.** Ecological Engineering, 24(4):391-401, 2005.

KELLOMA,ki, S. & WANG, K.-Y. (2000) Ecol. Modell. 128, 63–88.

KIRA, T. **Primary Production and Carbon Cycling in a Primeval Lowland Rainforest of Peninsular Malasia**. In: M. R. Sethuraj & A.S. Raghavendra (eds). *Tree Crop Physiology*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., p. 99- 119, 1987.

KIRCHHOFF, V. W. J. H. **Conseqüências Do Efeito Estufa**. In: *Queimadas na Amazônia e o efeito estufa*. São José dos Campos, SP, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), p.78-83, 1992.

KIRK, G. *The Biogeochemistry of submerged soils*. **Chichester: John Wiley e Sons**, 304 p., 2004.

KIRSCHBAUM, M. U. F. *et al.* **Definitions of some ecological terms commonly used in carbon accounting**. Cooperative Research Centre for Carbon Accounting, Canberra, p. 2-5, 2001.

KOCH, George W.; MOONEY, Harold A. Response of terrestrial ecosystems to elevated CO₂: a synthesis and summary. **Carbon dioxide and terrestrial ecosystems**, v. 415, 1996.

LATHUILLIÈRE, Michael J. et al. **Soil CO₂ concentrations and efflux dynamics of a tree island in the Pantanal wetland**. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, v. 122, n. 8, p. 2154-2169, 2017.

LEAL, L. S. M., *et al.* **Variação Diurna Da Concentração De Co₂ No Dossel Vegetativo Da Floresta Amazônica Em Caixuanã-PA**. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21.3a (2006): 122-128.

LEONARD, D. **Wellspring of Knowledge**. Boston: Harvard Business School Press, 1995.

LLOYD, J.; TAYLOR, J.A., **On the temperature dependence of soil respiration**. *Functional ecology*, Vol. 8, No. 3(Jun.,1994), p.315-323, 1994

LLOYD, J.; FARQUHAR; GRAHAM D. 13 C discriminação durante a assimilação de CO₂ pela biosfera terrestre. **Oecologia**, v. 99, n. 3-4, p. 201-215, 1994.

MACHADO, P.L.O.A. **Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global**. Quim. Nova, Vol. 28, No. 2, 329-334, 2005.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.; CULF, A.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**. v. 103, p. 31.593-31.612, 1998.

MAGARELLI, GABRIELLA; FOSTIER, ANNE HÉLÈNE. **Quantificação de fluxos de mercúrio gasoso na interface solo/atmosfera utilizando câmara de fluxo dinâmica: aplicação na bacia do rio negro**. Quim. Nova, v. 28, n. 6, p. 968-974, 2005.

MARENT, THOMAZ. **Floresta Tropical - Uma Viagem Fotográfica** - Edição em Português - Civilização Editora - novembro de 2006.

MARTINS, CLAUDIA ROCHA, *et al.* **Ciclos Globais De Carbono, Nitrogênio E Enxofre: A Importância Na Química Da Atmosfera**. Química Nova na Escola, volume, n. 5, 2014.

MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A. C.; LLOYD, J. **Soil respiration in a rainforest in Amazônia and in cerrado in central Brazil**. In: Amazonian deforestation and climate 1.p. 319329. J. M. Wileyand Sons, New York, 1996.

MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T.N.N. **Mato Grosso: solos e paisagens**. Cuiabá: Entrelinhas, 2011.

MORENO, LEANDRO XAVIER. **Desenvolvimento De Sistema Para Análise De Fluxo De CO₂ Do Solo Pelo Método De Absorção De Radiação Infravermelha**. 82f., Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 2012.

MUDANÇA DO CLIMA. **Cadernos NAE**, n.3, Brasília, 2005. Núcleo de assuntos Estratégicos da Presidência da República, Brasília, 2005, 250p.

NASSARDEN, D.C.S. **Dinâmica Sazonal de nutrientes no solo em diferentes fitofisionomias vegetais no Norte do Pantanal Mato-Grossense**. Cuiabá, 2015, dissertação (mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

OLSON JS, WATTS JA, ALLISON LJ. **Carbon In Live Vegetation Of Major World Ecosystems** (Environmental sciences division publication 1997). Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1983.

PACHECO, M. R. P. dos S.; HELENE, M. E. M. **Atmosfera, Fluxos De Carbono E Fertilização Por CO₂. Transcrições E Notas**. Estudos avançados, v. 4, n. 9, p. 204-220, 1990.

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

PEARMAN, G. I.; GARRATT, J. R. **Carbon Dioxide Measurements Above A Wheat Crop, 1. Observation Of Vertical Gradients And Concentrations**. Agricultural Meteorology. v. 12, p. 13-25, 1973.

PEREIRA, R. B. O. **Implementação Por Sistemas Embarcados De Protótipo Parametrizável Para Coleta De Dados Microclimáticos Georreferenciados**. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá: UFMT, 2013. 157 f

PEREIRA, O A. **Estimativas do Balanço de Energia e Fluxo de Carbono por diferentes métodos em Floresta de Transição no Sudoeste da Amazônia**, Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2013

PEREIRA, O. A. *et al.* **Perfil Da Concentração De Co₂ Em Uma Área Monodominante De Camará No Norte Do Pantanal**. In: Anais do XVI

Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Belo Horizonte, CD do Anais do XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2009.

PEREIRA, R. B. O. **Implementação Por Sistemas Embarcados De Protótipo Parametrizável Para Coleta De Dados Microclimáticos Georreferenciados.** Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá: UFMT, 2013. 157 f

Pi, R. (2012). Raspberry pi. Raspberry Pi, 1:1.

POSTEL, OLIVIER. **Les Prophètes De L'été Carbonique**, Science et vie, Août, 1986.

RAICH, J.W.; SHLESINGER, W.H. **The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate.** Tellus, 44B: 81-99p. 1992.

ROCHA, H. R., de FREITAS, H. C., ROSOLEM, R., TANNUS, R., NEGRÓN-JUÁREZ, R. I., LIGO, M., ... & BITENCOURT, M. **Ciclo do carbono.** *Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico (ALICE)*. 2005 - <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1024705>, 2005.

ROMANO, RODRIGO ALVITE. **Modelagem e controle de CO₂ em câmaras de topo aberto utilizadas em estudos de fisiologia vegetal.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SCIENTIFIC, Campbell. **AP 200 CO₂/H₂O Atmospheric Profile System** – Micrometeorology SB005. Campbell Scientific, 2014.

SHAW, R. H. **Curso De Micrometeorologia.** Piracicaba: Purdue University, 1977, p.114.

SILVA, L. B. DA. **Componentes da dinâmica de CO₂ em floresta semidecídua no norte de Mato Grosso.** **Dissertação (mestrado)** - Universidade Federal de

Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2010.

SILVA, M. V., DE SANTANA, R. A. S., DO VALE, R. S., TÓTA, J., & FITZJARRALD, D. **Análise Do Perfil Vertical De CO₂ Em Uma Área De Floresta Na Amazônia Central**. *Ciência e Natura*, v. 37, p. 22-26, 2015.

SOLOMON AM, PRENTICE IC, LEEMANS R, CRAMER W. **The Interaction Of Climate And Land Use In Future Terrestrial Carbon Storage And Release**. *Water, Air, Soil Pollut* 70:595–614, 1993.

SOUZA COSTA, Falberni de *et al.* **Estoque De Carbono Orgânico No Solo E Emissões De Dióxido De Carbono Influenciadas Por Sistemas De Manejo No Sul Do Brasil**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, 2008.

STULL, R.B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Academic Publishers, pp. 670, Boston, 1988.

TORRES, JOÃO DELFINO, *et al.* **Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados**. *Scientia Plena* 11.2, 2015.

TÓTA, J.; FITZJARRALD, D. R.; SILVA-DIAS, M. A.F. **Exchange of Carbon Between the Atmosphere and the Tropical Amazon Rainforest**. In: Sudarshana, P.; Nageswara-Rao, M.; Soneji, J. R. (Ed.). *Tropical Forests*. Croatia: In Tech, , p. 305-330, ISBN 978-953-51-0255-7, 2012.

TÓTA, J., FITZJARRALD, DR, STAEBLER, RM, SAKAI, RK, MORAES, OM, ACEVEDO, OC, ... & MANZI, AO. **Floresta Amazônica Subcanopy Fluir E O Orçamento De Carbono**. Site de Santarém LBA-ECO *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 113 (G1), 2008.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, 2006. Versão digital 2.

VIANA, C. N. A., **Manual do Programa de Eficientização Industrial - Módulo: Ventiladores e Exaustores**. ELETROBRÁS / PROCEL, Rio de Janeiro, 2002.

VISWANADHAM, Y.; MOLION, L. C. B.; MANZI, A. O.; SÁ, L. D. A.; SILVA FILHO, V. P. **Micrometeorological Measurements In Amazon Forest During GTE/ABLE 2a mission**. Journal Geophysical Research, v.95, n°D9, p.13669-13682, Aug. 1990.

VOURLITIS, G.L., HENTZ, C.S, PINTO JR., O. B, CARNEIRO, E., E NOGUEIRA, J. S. (2017). **Soil N, P, and C dynamics of upland and seasonally flooded forests of the Brazilian Pantanal** Ecologia Global e Conservação.

YAWUT C, KILASO S. **A Wireless Sensor Network for Weather and Disaster Alarm Systems**. 8th International Conference on Virtual Learning. Cape Town, South Africa; 2011.

YU, CHANG MAN. **Sequestro Florestal De Carbono No Brasil: Dimensões Políticas, Socioeconômicas E Ecológicas**. Annablume de 2004.

ZANELLA DE ARRUDA, PAULO HENRIQUE. **Dinâmica Das Trocas De Massa E Energia Em Região De Cerrado Na Baixada Cuiabana** / Paulo Henrique Zanella de Arruda. -- 2014 69 f. : il. color. ; 30 cm.

APÊNDICE A

Agendamento do crontab –e.

```
Edit this file to introduce tasks to be run by cron.
#
# Each task to run has to be defined through a single line
# indicating with different fields when the task will be run
# and what command to run for the task
#
# To define the time you can provide concrete values for
# minute (m), hour (h), day of month (dom), month (mon),
# and day of week (dow) or use '*' in these fields (for 'any').#
# Notice that tasks will be started based on the cron's system
# daemon's notion of time and timezones.
#
# Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
# email to the user the crontab file belongs to (unless redirected).
#
# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
*/5 * * * * /home/pi/scripts/perfil.sh&
```

APÊNDICE B

Schell script

```
#!/bin/bash
```

```
sudo python /home/pi/scripts/limpapin.py  
sleep 2
```

```
sudo python /home/pi/scripts/p1_123458.py  
sleep 60
```

```
#1
```

```
sudo python /home/pi/scripts/p2_157.py  
sleep 10
```

```
sudo python /home/pi/scripts/p1_licor840.py  
sleep 1
```

```
#2
```

```
sudo python /home/pi/scripts/p3_257.py  
sleep 10
```

```
sudo python /home/pi/scripts/p2_licor840.py  
sleep 1
```

```
#3
```

```
sudo python /home/pi/scripts/p4_357.py  
sleep 10
```

```
sudo python /home/pi/scripts/p3_licor840.py  
sleep 1
```

```
#4
```

```
sudo python /home/pi/scripts/p5_457.py  
sleep 10
```

```
sudo python /home/pi/scripts/p4_licor840.py  
sleep 1
```

```
sudo python /home/pi/scripts/limpapin.py
```

APÊNDICE C

Script em Python para ler o Licor 840.

```

import os, glob, sys
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import serial
import argparse
import xml.dom.minidom
import csv, datetime
#import epics
from time import gmtime
from time import strftime

ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 9600, timeout=2, xonxoff=False, rtscts=False,
dsrdtr=False)
ser.flushInput()
ser.flushOutput()

def getText(nodelist):
    rc = []
    for node in nodelist:
        if node.nodeType == node.TEXT_NODE:
            rc.append(node.data)
    return ".join(rc)
##### data no nome do arquivo #####
def timeStamped(fname, fmt='%Y-%m-%d_{fname}'):
    return datetime.datetime.today().strftime(fmt).format(fname=fname)
##### fim data no nome do arquivo #####
data_raw = ser.readline()
data_raw = ser.readline()
date=datetime.datetime.now()
data_raw = ser.readline()
data_raw = ser.readline()

```

```
equals_pos = data_raw.find("")
co2i = data_raw.find('<co2>')
co2f = data_raw.find('</co2>')
h2oi = data_raw.find('<h2o>')
h2of = data_raw.find('</h2o>')
co21 = data_raw[equals_pos+co2i+5:co2f]
h2o1 = data_raw[equals_pos+h2oi+5:h2of]

todasmedidas= datetime.datetime.now(),co21,h2o1
#print todasmedidas
print co21
nomearquivo = timeStamped("p1.csv")
path = '/home/pi/dados/'
os.chdir(path)
file1 = open(nomearquivo, 'a')
file1Writer = csv.writer(file1, delimiter=',')
file1Writer.writerow(todasmedidas)
file1.close()
```

APÊNDICE D

Script Python para controle dos relés.

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

r1=18
r2=16
r3=15
r4=13
r5=12
r6=11
r7=21
r8=19

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(r1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(r2, GPIO.OUT)
GPIO.setup(r3, GPIO.OUT)
GPIO.setup(r4, GPIO.OUT)
GPIO.setup(r5, GPIO.OUT)
GPIO.setup(r6, GPIO.OUT)
GPIO.setup(r7, GPIO.OUT)
GPIO.setup(r8, GPIO.OUT)
GPIO.output(r1, 0)#altura 1
GPIO.output(r2, 1)
GPIO.output(r3, 1)
GPIO.output(r4, 1)
GPIO.output(r5, 0)#motor
GPIO.output(r6, 0)#motor
GPIO.output(r7, 0)#licor
GPIO.output(r8, 1)
time.sleep(1)
GPIO.output(r7, 1)#fecharLicor
```

APÊNDICE E

Produto	Local da compra	Moeda		Preço Unitário	Qtde	Frente	Preço por produto
Bomba de Vácuo / Mini Compressor - TYAP127	www.usinainfo.com.br	BR	1	175.9	4	0	R\$703.60
LI840A – LICOR	www.soc.hawaii.edu	US	3.93	4900	1		R\$19,257.00
Válvulas solenoides MAC	www.ebay.com	US	3.93	27.71	4		R\$435.60
Manifold	AçoFer	BR	1	20	1		R\$20.00
Manifold(mão-de-obra)	Tornearia	BR	1	100	1		R\$100.00
Mangueira 6mm	Casa das mangueiras e correias	BR	1	159.23	1		R\$159.23
Abraçadeira 9mm		BR	1	1.19	4		R\$4.76
Fita veda rosca	Casa da Borracha	BR	1	5.71	2		R\$11.42
Conector 2p c/rosca	Comercial multicasa	BR	1	1.75	6		R\$10.50
Conector 2p Y	Comercial multicasa	BR	1	3.95	2		R\$7.90
Conector tampa	Comercial multicasa	BR	1	3.25	4		R\$13.00
Conector tampa vazada	Comercial multicasa	BR	1	3.25	4		R\$13.00
Raspberry Pi3	www.filipeflop.com	BR	1	229.9	1		R\$229.90
Cartão micro-SD	Kadri	BR	1	49.9	1		R\$49.90
RTC DS3231	www.filipeflop.com	BR	1	24.9	1		R\$24.90
Regulador de tensão	www.filipeflop.com	BR	1	14.9	1		R\$14.90
Módulo Relé	www.usinainfo.com.br	BR	1	52.9	1	0	R\$52.90
Abriço	www.directindustry.com	BR	1	168.35	2		R\$336.70
Total							R\$21,445.21

APÊNDICE F

Produto	Local da compra	Moeda		Preço Unitário	Qtde	Frente	Preço por produto
Bomba de Vácuo / Mini Compressor - TYAP127	www.usinainfo.com.br	BR	1	175.9	4	0	R\$703.60
LI840A – LICOR	www.soc.hawaii.edu	US	3.93	4900	1		R\$19,257.00
Válvulas solenoides Numatics	www.ebay.com	US	3.93	60	1		R\$235.80
Válvulas solenoides MAC	www.ebay.com	US	3.93	27.71	4		R\$435.60
Rotâmetro-R. Master®	www.amazon.com	US	3.93	58.5	1		R\$229.91
Manifold	AçoFer	BR	1	20	1		R\$20.00
Manifold(mão-de-obra)	Tornearia	BR	1	100	1		R\$100.00
Mangueira 6mm	Casa das mangueiras e correias	BR	1	159.23	1		R\$159.23
Abraçadeira 9mm		BR	1	1.19	4		R\$4.76
Fita veda rosca	Casa da Borracha	BR	1	5.71	2		R\$11.42
Conector 2p c/rosca	Comercial multicasa	BR	1	1.75	6		R\$10.50
Conector 2p Y	Comercial multicasa	BR	1	3.95	2		R\$7.90
Conector tampa	Comercial multicasa	BR	1	3.25	4		R\$13.00
Conector tampa vazada	Comercial multicasa	BR	1	3.25	4		R\$13.00
Raspberry Pi3	www.filipeflop.com	BR	1	229.9	1		R\$229.90
Cartão micro-SD	Kadri	BR	1	49.9	1		R\$49.90
GPS	www.filipeflop.com	BR	1	129.9	1		R\$129.90
Regulador de tensão	www.filipeflop.com	BR	1	14.9	1		R\$14.90
Módulo Relé	www.usinainfo.com.br	BR	1	52.9	1	0	R\$52.90
Abrigo	www.directindustry.com	BR	1	168.35	2		R\$336.70
Total							R\$22,015.92