



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

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS VARIÁVEIS
MICROMETEOROLÓGICAS, DE SOLO E FLUXOS
DE MASSA E ENERGIA, DOS ECOSSISTEMAS
PANTANAL E CERRADO EM MATO GROSSO
BRASIL**

JAMSON JUSTI

**ORIENTADOR: PAULO HENRIQUE ZANELLA
DE ARRUDA**

**COORIENTADOR: PROF. DR. HIGO JOSÉ
DALMAGRO**

**Cuiabá – MT
Março de 2023**



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

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS VARIÁVEIS
MICROMETEOROLÓGICAS, DE SOLO E FLUXOS
DE MASSA E ENERGIA, DOS ECOSISTEMAS
PANTANAL E CERRADO EM MATO GROSSO
BRASIL**

JAMSON JUSTI

*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.*

**ORIENTADOR: PAULO HENRIQUE ZANELLA
DE ARRUDA**

**COORIENTADOR: PROF. DR. HIGO JOSÉ
DALMAGRO**

**Cuiabá – MT
Março de 2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

J96a Justi, Jamson.

ANÁLISE COMPARATIVA DAS VARIÁVEIS
MICROMETEOROLÓGICAS, DE SOLO E FLUXOS DE
MASSA E ENERGIA, DOS ECOSISTEMAS PANTANAL E
CERRADO EM MATO GROSSO BRASIL [recurso eletrônico] /
Jamson Justi. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 102 f., il. color.,
pdf). -- 2023.

Orientador: Paulo Henrique Zanella De Arruda.

Coorientador: Higo José Dalmagro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física
Ambiental, Cuiabá, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

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

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



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

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ANÁLISE COMPARATIVA DAS VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS, DE SOLO E FLUXOS DE MASSA E ENERGIA, DOS ECOSISTEMAS PANTANAL E CERRADO EM MATO GROSSO, BRASIL.

AUTOR: DOUTORANDO JAMSON JUSTI

Tese defendida e aprovada em **15 de MARÇO de 2023.**

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Prof. Dr. PAULO HENRIQUE ZANELLA DE ARRUDA (Presidente Banca / **ORIENTADOR**)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

2. Prof. Dr. MARCELO SACARDI BIUDES (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

3. Prof. Dr. CARLO RALPH DE MUSIS (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: Universidade de Cuiabá

4. Prof. Dr. HIGO JOSÉ DALMAGRO (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: Universidade de Cuiabá

5. Prof. Dr. OSVALDO ALVES PEREIRA (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: Universidade de Cuiabá

CUIABÁ, 15/03/2023.



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/04/2023, às 09:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Higo J Dalmagro, Usuário Externo**, em 20/04/2023, às 09:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLO RALPH DE MUSIS, Usuário Externo**, em 20/04/2023, às 09:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Osvaldo Alves Pereira, Usuário Externo**, em 20/04/2023, às 15:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **PAULO HENRIQUE ZANELLA DE ARRUDA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 27/04/2023, às 09:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5620613** e o código CRC **CCC83355**.

DEDICATORIA

Dedico este trabalho ao meu Deus:
*“Porque o Senhor dá a sabedoria, e da
sua boca vem a inteligência e o
entendimento”* (Provérbios 2:6 ARA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, “*minha misericórdia e fortaleza minha, meu alto refúgio e meu libertador, meu escudo, aquele em quem confio [...]*” (Salmos 144:2 ARA). Não me desamparou em nenhum momento.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Paulo Henrique Zanella de Arruda, pela confiança depositada em mim, e também pela paciência, e muita, e ao Prof. Dr. Higo José Dalmagro, pela imensa dedicação, ajuda e norte para o trabalho.

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira (*in memoriam*), pelo incentivo para que eu entrasse no Doutorado e finalizasse meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo, atual Coordenador do Programa de Doutorado, pelo carinho e presteza, que sempre teve comigo.

Ao Prof. Dr. Carlo Ralph de Muis, suas aulas e ensinamentos, sobretudo sua excelência e postura como Docente, me inspiraram a ser um Professor melhor. Obrigado por tudo!

Agradeço as minhas duas mães, Marilene Justi e Cleides Freitas da Silva, por todo amor, esforço e sacrifícios que fizeram, para que eu tivesse sucesso na vida.

Agradeço a minha esposa, Profa. Dra. Edrilene Barbosa Lima Justi, pelo tempo que lhe roubei, pela desatenção em tantos momentos em que estive dedicando a este trabalho. Sem os incentivos dela, jamais me tornaria um docente, e também jamais concluiria este Doutorado.

Agradeço ao meu irmão Prof. Dr. Jadson Justi, uma fonte de inspiração na minha vida. Sua trajetória acadêmica me estimula a ser um Professor melhor a cada dia.

Agradeço também a todos os meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da UFMT.

A todos os Professores e funcionários do PPGFA, que direta ou indiretamente contribuíram para concretização deste trabalho e pela presteza que atenderam as minhas necessidades, em especial a Soilce Beatriz de Paula Carrilho, que sempre me animou.

SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS	vii
LISTAS DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 HIPÓTESES	3
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 CARACTERIZAÇÃO	5
2.1.1 Cerrado	5
2.1.2 Pantanal	11
2.2 RIOS VOADORES VS DESMATAMENTO	15
2.3 RELAÇÃO DESMATAMENTO E QUEIMADAS NO CERRADO E PANTANAL NA RETROALIMENTAÇÃO DE ÁGUA DA ATMOSFERA	20
2.4 FLUXOS E BALANÇO DE CARBONO	25
2.5 COVARIÂNCIA DE VÓRTICES TURBULENTOS	30
3. MÉTODOS	35
3.1 LOCAL DE ESTUDO 1: FAZENDA MIRANDA	35
3.2 TORRE DA FAZENDA MIRANDA	36
3.3 LOCAL DE ESTUDO 2: BAÍA DAS PEDRAS	38
3.4 TORRE DA BAÍA DAS PEDRAS	40
3.5 PREENCHIMENTO DE FALHAS	41
3.6 MÉTODO DE ABORDAGEM E PROCEDIMENTO	42
3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS E SOFTWARES UTILIZADOS	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5. CONCLUSÕES	74
6. REFERÊNCIAS	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cerrado Brasileiro	5
Figura 2: Tipos de clima predominantes no Bioma Cerrado, segundo a classificação de Koppen.	6
Figura 3: Temperatura média anual (°C) no Bioma Cerrado.	7
Figura 4: Distribuição temporal e análise de regressão linear da precipitação pluviométrica de 1977 a 2006 Mato-Grossense.	8
Figura 5: Média anual da umidade relativa do ar (%) no Bioma Cerrado.	10
Figura 6: Variação espacial da evapotranspiração potencial anual (mm) no Bioma Cerrado.	10
Figura 7: Pantanal Brasileiro	11
Figura 8: Localização geográfica e delimitações das sub-regiões do Pantanal Mato-Grossense.	12
Figura 9: Divisão geopolítica do Pantanal Brasileiro.	14
Figura 10: O caminho percorrido pelos rios voadores.	16
Figura 11: Efeito do desmatamento em relação às chuvas nos trópicos.	18
Figura 12: Localização do Cerrado em relação às 12 grandes regiões hidrográficas brasileiras instituídas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).	20
Figura 13: Dados de Desmatamento anuais dos biomas Amazônia Legal (A), Cerrado (B) e Pantanal (C), por estado, em km^2	23
Figura 14: Reservatório e fluxos de carbono (em bilhões de toneladas).	27
Figura 15: Diagrama esquemático ilustrando os componentes principais do balanço de carbono em ecossistemas vegetados.	29
Figura 16: Fluxo de ar representado por uma grande flecha que passa através da torre, e consiste de redemoinhos de tamanhos diferentes.	30
Figura 17: Redemoinho observado em um único ponto da torre.	31
Figura 18: Torre instalada na Fazenda Miranda em Mato Grosso.	35
Figura 19: Localização da torre micrometeorológica “Torre Miranda” em Cerrado campo sujo no estado de Mato Grosso.	36
Figura 20: “Torre Baía das Pedras” instalada no SESC Pantanal.	38
Figura 21: Localização da torre micrometeorológica “Torre Baía das Pedras” em Pantanal Mato-Grossense.	39

Figura 22: Medições obtidas no Pantanal. (A) Umidade relativa do ar (%), (B) Temperaturas do ar (°C), (C) Precipitação quinzenal (mm) e (D) Precipitação mensal acumulada (mm). Cada ponto nas figuras (A) e (B) representam uma média (μ) de 15 dias. Cada ponto na figura (C) representa um somatório de precipitação de 15 em 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema, e a parte sombreada em azul na (D) representa um acúmulo mensal de precipitação (somatório mensal + somatório do período anterior). 44

Figura 23: Medições obtidas no Pantanal. (A) O_2 do solo à 10 cm de profundidade (%), (B) Temperatura do solo à 10 cm de profundidade (°C) e (C) Umidade do solo à 10 cm de profundidade (%). Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. 45

Figura 24: Medições obtidas no Pantanal. (A) Troca líquida de CO_2 (NEE em $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), (B) Produtividade primária bruta (GPP em $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), (C) Evapotranspiração mensal acumulada (ET em mm.) e (D) Evapotranspiração e precipitação mensal acumulada (ET e PPT em mm.). Cada ponto nas figuras (A) e (B) representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. Cada ponto nas figuras (C) e (D) representam um acúmulo mensal da variável medida (somatório mensal + somatório do período anterior). 46

Figura 25: Medições obtidas no Pantanal. Evapotranspiração e precipitação quinzenal acumulada (ET e PPT em mm.). As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. 47

Figura 26: Medições obtidas no Cerrado. (A) Umidade relativa do ar (%), (B) Temperaturas do ar (°C), (C) Precipitação quinzenal (mm) e (D) Precipitação mensal acumulada (mm). Cada ponto nas figuras (A) e (B) representam uma média (μ) de 15 dias. Cada ponto na figura (C) representa um somatório de precipitação de 15 em 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema, e a parte sombreada em azul na (D) representa um acúmulo mensal de precipitação (somatório mensal + somatório do período anterior). 48

Figura 27: Medições obtidas no Cerrado. (A) Temperatura do solo à 10 cm de profundidade (°C) e (B) Umidade do solo à 20 cm de profundidade (%). Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. 49

Figura 28: Medições obtidas no Cerrado. (A) Troca líquida de CO_2 (NEE em $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), (B) Produtividade primária bruta (GPP em $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), (C)

Evapotranspiração mensal acumulada (ET em mm.) e (D) Evapotranspiração e precipitação mensal acumulada (ET e PPT em mm.). Cada ponto nas figuras (A) e (B) representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. Cada ponto nas figuras (C) e (D) representam um acúmulo mensal da variável medida (somatório mensal + somatório do período anterior). 49

Figura 29: Medições obtidas no Cerrado. Evapotranspiração e precipitação quinzenal acumulada (ET e PPT em mm.). As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. 51

Figura 30: Medições obtidas no Pantanal e Cerrado, com dados normalizados. (A) Umidade relativa do ar, (B) Temperaturas do ar, e (C) Precipitação quinzenal. Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca nos ecossistemas. 52

Figura 31: Medições obtidas no Pantanal e Cerrado, com dados normalizados. (A) O_2 do solo apenas no Pantanal, à 10 cm de profundidade (não há dados de comparação com o Cerrado, para esta variável), (B) Temperatura do solo à 10 cm de profundidade e (C) Umidade do solo à 10 cm de profundidade no Pantanal, e 20 cm de profundidade no Cerrado. Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. 53

Figura 32: Medições obtidas no Pantanal e Cerrado, com dados normalizados. (A) Troca líquida de CO_2 (NEE), (B) Produtividade primária bruta (GPP), e (C) Evapotranspiração (ET). Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. 53

Figura 33: Variáveis que mais influenciam NEE, GPP e ET dos ecossistemas Pantanal e Cerrado, considerando $p \leq 0,05$ 56

Figura 34: Gráficos de probabilidade normal de resíduos dos ecossistemas Pantanal e Cerrado. Os dados (médias de 15 dias) são comparados a uma curva normal padrão teórica. Gráficos A, B e C, correspondem ao Bioma Pantanal, e os Gráficos D, E e F correspondem ao Bioma Cerrado. 61

Figura 35: Gráficos de resíduos vs resíduos defasados $r(t)$ vs $r(t-1)$. Gráficos A, B e C, correspondem ao Bioma Pantanal, e os Gráficos D, E e F correspondem ao Bioma Cerrado. 62

Figura 36: Modelo linear obtido no *Curve Fitting Tool* (Matlab) ajustado com polinômio de 2º grau (*Robust Bisquare*). ET vs Tsolo do Bioma Pantanal e dados

obtidos: coeficientes da equação (p_1 , p_2 e p_3) com IC de 95%, R^2 , R^2 Ajustado e RMSE.	63
Figura 37: Gráfico das médias (μ) bootstrap de R_n , LE, H e G, e seus respectivos Intervalos de Confiança, obtidos a partir da Tabela 9 e 10. O Gráfico “A” plota as médias e ICs relativos à Tabela 9 (Pantanal), e o Gráfico B plota as médias e ICs relativos à Tabela 10 (Cerrado).....	68
Figura 38: Gráfico das médias (μ) bootstrap normalizadas de R_n , LE, H e G, obtidas a partir das Tabelas 11 e 12, relativas aos Biomas Pantanal e Cerrado.	69
Figura 39: Gráfico das médias (μ) bootstrap mensais (horizonte de três anos) de R_n , LE, H e G, e seus respectivos Intervalos de Confiança. O Gráfico “A” plota as médias e ICs relativos ao Pantanal, período de janeiro de 2014 à dezembro de 2016, e o Gráfico B plota as médias e ICs relativos ao Cerrado, período de março de 2011 à dezembro de 2013.....	70
Figura 40: Gráfico da Evapotranspiração dos dados não normalizados dos biomas Pantanal e Cerrado. A curva de cor roxa, preenchida, é relativo ao Pantanal, e a curva azul é relativa ao Cerrado. A faixa cinza destaca o período de seca.	71
Figura 41: Diagrama de Laço Causal da relação entre desmatamento, seca e queimadas, sobre a retroalimentação dos rios voadores na Amazônia, Cerrado e Pantanal.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Medidas, instrumentos e respectivas alturas na torre instalada na Fazenda Miranda.	37
Tabela 2: Raiz quadrada do erro médio (RMSE), R^2 e R^2 Ajustado das variáveis NEE, GPP e ET versus Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, assim como NEE, GPP e ET versus variáveis de interesse, ou seja, que mais influenciam NEE, GPP e ET, considerando um IC de 95%.	55
Tabela 3: Regressão múltipla do ecossistema Pantanal, de NEE vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p, e também Regressão múltipla de NEE vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.	58
Tabela 4: Regressão múltipla do ecossistema Pantanal, de GPP vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p, e também Regressão múltipla de GPP vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.	58
Tabela 5: Regressão múltipla do ecossistema Pantanal, de ET vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p, e também Regressão múltipla de ET vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.	59
Tabela 6: Regressão múltipla do ecossistema Cerrado, de NEE vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p, e também Regressão múltipla de NEE vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.	59
Tabela 7: Regressão múltipla do ecossistema Cerrado, de GPP vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p, e também Regressão múltipla de GPP vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.	60
Tabela 8: Regressão múltipla do ecossistema Cerrado, de ET vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p, e também Regressão múltipla de ET vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.	60
Tabela 9: Amostras Bootstrap do Pantanal para a média (μ), com 2.000 reamostras e Intervalos de Confiança IC de 95%.	66

Tabela 10: Amostras Bootstrap do Cerrado para a média (μ), com 2.000 reamostras e Intervalos de Confiança IC de 95%.	66
Tabela 11: Amostras Bootstrap normalizadas do Pantanal para a média (μ), com 2.000 reamostras e Intervalos de Confiança IC de 95%.	67
Tabela 12: Amostras Bootstrap normalizadas do Cerrado para a média (μ), com 2.000 reamostras e Intervalos de Confiança IC de 95%.	67

LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS

ANA:	Agência Nacional da Águas
BAP:	Bacia do alto Paraguai
CH_4 :	Metano
CO_2 :	Dióxido de Carbono
DETER:	Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real do INPE
DLC:	Diagrama de laço causal
ET:	Evapotranspiração (mm.)
FM:	Fazenda Miranda
G:	Fluxo de calor no solo ($W.m^{-2}$)
GLAD:	Global Land Analysis and Discovery
GPP:	Produtividade primária bruta ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$)
H:	Fluxo de calor sensível ($W.m^{-2}$)
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC:	Intervalo de confiança (%)
INPE:	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM:	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
ISPN:	Instituto Sociedade População e Natureza
LE:	Fluxo de calor latente ($W.m^{-2}$)
MMA:	Ministério do Meio Ambiente
NEE:	Troca líquida de CO_2 no ecossistema ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$)
PPT:	Variável de Precipitação (mm.)
O_2 :	Oxigênio do solo (%)
PRODES:	Programa de Cálculo do Desmatamento da Amazônia
R^2 :	Coeficiente de determinação
RMSE:	Raiz quadrada do erro médio
Rn:	Saldo de radiação ($W.m^{-2}$)
SAD:	Sistema de Alerta de Desmatamento do Imazon
SE:	Erro padrão
Tar:	Variável de Temperatura do ar ($^{\circ}C$)
Tsolo:	Variável de Temperatura do solo ($^{\circ}C$)
tStat:	Estatística teste

UR:	Umidade relativa do ar (%)
Urar:	Variável de Umidade relativa do ar (%)
Usolo:	Variável de Umidade do solo (%)
VPD:	Variável de Déficit de Pressão de Vapor (%)

RESUMO

JUSTI, Jamson. **Análise comparativa das variáveis micrometeorológicas, de solo e fluxos de massa e energia, dos ecossistemas pantanal e cerrado em Mato Grosso Brasil**. Cuiabá, 2023, 100f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Monitorar e entender o comportamento das variáveis micrometeorológicas, de solo e os fluxos de energia em diferentes biomas, é de suma importância, dada as mudanças que ocorrem constantemente no meio ambiente. Este trabalho tem por objetivo comparar dados de dois ecossistemas no estado de Mato Grosso, são eles: Baía das Pedras (Pantanal, com dados de 2014 à 2016) e Fazenda Miranda (Cerrado campo sujo, com dados de 2011 à 2013), e entender qual, ou quais variáveis, seja ela da atmosfera, ou solo, mais influenciam os fluxos de GPP (produtividade primária bruta), NEE (troca líquida de CO_2 no ecossistema) e ET (evapotranspiração). Também se discute a influência e relação entre desmatamento e queimadas nos ecossistemas na retroalimentação de água na atmosfera através de diagrama de laço causal (DLC). A metodologia empregada neste trabalho, em relação ao método de abordagem, é o método hipotético-dedutivo, e em relação ao método de procedimento, foram utilizados os métodos estatístico e comparativo. Ao normalizar os dados, verificou-se que a umidade relativa do ar foi maior no ecossistema Pantanal. No Cerrado, especialmente nos períodos finais de seca, observou-se umidades bem baixas. Em relação às temperaturas do ar, ressalta-se que as mesmas são maiores no Cerrado, notadamente em agosto do segundo ano. Em janeiro do terceiro ano, notou-se também temperaturas equivalentes entre os dois ecossistemas, em período de chuva. Para o Pantanal, o oxigênio do solo (O_2) apresentou tendência de ser maior em período de chuva, ao mesmo tempo em que teve maiores picos neste período. No geral, no Pantanal, as médias de temperaturas do solo foram maiores em boa parte do tempo, e em relação a umidade do solo, as maiores médias foram observadas em período de seca, quando comparados ao Cerrado. É possível observar maiores médias de trocas líquidas de CO_2 no Pantanal, sobretudo em períodos de seca, sendo que algumas inversões para o Cerrado ocorrem no período de chuva. Nos meses de maio e junho do 2º ano teve-se picos maiores de NEE no Cerrado, e nos meses de abril à outubro do 3º ano, teve-se picos bem menores do que os observados no Pantanal. No geral, as médias de GPP foram maiores no Pantanal, com maiores valores em períodos de seca. Foi possível inferir que as variáveis micrometeorológicas e de solo que mais influenciam o NEE, o GPP e a ET entre os biomas estudados, são distintas. Os dados mostram também tendência de se manter, no Pantanal, sempre alta a ET ao longo de cada ano, independente do período de chuva ou seca, e em determinados momentos o valor da ET no Pantanal é o dobro da medida no Cerrado.

Palavras-chave: Balanço de energia, rios voadores, evapotranspiração em bioma.

ABSTRACT

JUSTI, Jamson. **Comparative analysis of micrometeorological, soil and mass and energy fluxes variables in the Pantanal and Cerrado ecosystems in Mato Grosso Brazil**. Cuiabá, 2023, 100f. Thesis (Doctorate in Environmental Physics); Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

Monitoring and understanding the behavior of micrometeorological variables, soil and energy fluxes in different biomes is of paramount importance, given the changes that constantly occur in the environment. This work aims to compare data from two ecosystems in the state of Mato Grosso, they are: Baía das Pedras (Pantanal, with data from 2014 to 2016) and Fazenda Miranda (Cerrado dirty field, with data from 2011 to 2013), and to understand which, or which variables, whether from the atmosphere or soil, most influence the fluxes of GPP (gross primary productivity), NEE (net exchange of CO_2 in the ecosystem) and ET (evapotranspiration). It also discusses the influence and relationship between deforestation and fires in ecosystems in the feedback of water in the atmosphere through a causal loop diagram (DLC). The methodology used in this work, in relation to the method of approach, is the hypothetical-deductive method, and in relation to the method of procedure, the statistical and comparative methods were used. By normalizing the data, it was found that the relative humidity was higher in the Pantanal ecosystem. In the Cerrado, especially in the final periods of drought, very low humidity was observed. Regarding air temperatures, it should be noted that they are higher in the Cerrado, notably in August of the second year. In January of the third year, equivalent temperatures were also observed between the two ecosystems, during the rainy season. For the Pantanal, soil oxygen (O_2) tended to be higher in the rainy season, while having higher peaks in this period. In general, in the Pantanal, the soil temperature averages were higher most of the time, and in relation to soil moisture, the highest averages were observed in the dry period, when compared to the Cerrado. It is possible to observe higher averages of net CO_2 exchanges in the Pantanal, especially in periods of drought, with some inversions for the Cerrado occurring in the rainy season. In the months of May and June of the 2nd year, there were higher NEE peaks in the Cerrado, and in the months of April to October of the 3rd year, there were much smaller peaks than those observed in the Pantanal. In general, GPP averages were higher in the Pantanal, with higher values in dry periods. It was possible to infer that the micrometeorological and soil variables that most influence NEE, GPP and ET among the studied biomes are different. The data also show a tendency to maintain, in the Pantanal, an always high ET throughout each year, regardless of the rainy or dry season, and at certain times the ET value in the Pantanal is twice that measured in the Cerrado.

Palavras-chave: Energy balance, flying rivers, evapotranspiration in biome.

1. INTRODUÇÃO

O Pantanal é reconhecido por ser a maior planície de inundação contínua do planeta, abrangendo parte dos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, ocupando aproximadamente cerca de 2% do território brasileiro (IBGE, 2020). É importante salientar que o bioma Pantanal depende das chuvas provenientes da Amazônia, através dos chamados “rios voadores”, alimentando os rios e as cheias pantaneiras, também denominadas de pulsos de inundação (RUPPENTHAL, 2020). Esses cruciais pulsos possuem a capacidade de regular os processos ecológicos, e são responsáveis, como um todo, pela produtividade do bioma. Além de sua existência depender dos rios voadores oriundos da Amazônia, herda-se também espécies florísticas e faunísticas da Floresta Amazônica, do Semiárido, do Chaco e especialmente do Cerrado.

Por conta da dependência de sobrevivência do Pantanal em relação à Floresta Amazônica, qualquer alteração no ecossistema Amazônia, influencia nos pulsos de inundação do Pantanal e climas locais, podendo-se dizer que de certa forma, como uma cadeia, ou mesmo um processo natural, acaba por influenciar negativamente também, a médio e longo prazo, na produtividade da agricultura na parte Sul do Brasil, por conta de períodos de seca prolongados.

Um dos fatores preocupantes que podem alterar significativamente as características de clima do Pantanal, é o constante desmatamento que vêm ocorrendo na Amazônia ao longo dos anos. Dados do Programa de Cálculo do Desmatamento da Amazônia, obtidos através do satélite Landsat, que detecta exclusivamente desmatamentos tipo corte raso, superiores a 6,25 hectares, mostram que de 1988 à 2019, cerca de 446.019,00 Km^2 de área, foram desmatadas (PRODES, 2020). Possíveis incentivos ao desmatamento foram amplamente discutidos, como a alta demanda global por commodities agrícolas na Amazônia, citado por Garrett et al. (2012), expansão de rodovias e infraestrutura por Laurence et al. (2002), ou mesmo falta de supervisão de um órgão público na questão de apropriação de terras, por Azevedo-Ramos e Moutinho (2018).

Embora o constante desmatamento da Floresta Amazônica não seja uniforme, pois ocorre grande concentração de corte raso no chamado Arco do Fogo (ou Arco do Desmatamento), a exploração madeireira produz extensas áreas de florestas degradadas, que na maioria das vezes, nem entra para estatística oficial da destruição, e pode ter impacto substancial sobre o clima (NOBRE, A. D., 2014).

Partindo dessa premissa, monitorar o clima, bem como variáveis micrometeorológicas do Pantanal como um todo, bem como também do Cerrado, se faz necessário, pois alterações nestes ecossistemas, podem indicar relação com os acontecimentos na Amazônia. Nobre (2014) cita ainda que estudos em torres micrometeorológicas mostram que a substituição de floresta por pastagem leva a um aumento de temperatura de superfície e uma redução da evapotranspiração.

Spracklen (2012) constatou através de dados de satélites para chuva e presença de floresta, que através do desmatamento, ocorre a redução da precipitação a jusante dos ventos. Em ao menos 60% das áreas tropicais, o ar que passa sobre densas florestas produz pelo menos duas vezes mais chuva que o ar que passa sobre áreas desmatadas, demonstrando que os impactos negativos com o desmatamento, afeta o clima, não somente regiões locais, ou próximas, mas também distantes. Uma redução das chuvas ainda maior do que o demonstrado por Spracklen, foi observado pelos estudos de Makarieva (2014), onde constatou-se um atraso no início da estação úmida, afetando diretamente o setor agrícola.

O Bioma Cerrado, por sua vez, de acordo com IBGE (2020), é reconhecido como a Savana mais rica do mundo em biodiversidade, e ocupa cerca de 24% do território brasileiro, no entanto, abriga o principal pólo de expansão da produção agropecuária do país. Estas atividades já resultaram na eliminação de uma expressiva porção da cobertura vegetal nativa do Bioma. De Arruda (2014) observa que o clima neste Bioma é extremamente sazonal, com meses sem chuva e períodos de alta precipitação, e a demanda evaporativa é substancialmente maior na época seca, quando as condições do ambiente induzem às plantas a estresse hídrico, principalmente na vegetação de raízes pouco profundas.

Dada as grandes proporções do Pantanal e do Cerrado brasileiro, é possível inferir que são importantes reguladores de trocas de massa e energia com a atmosfera.

Sendo assim, qualquer alteração nestes ambientes, afeta a dinâmica da interação biosfera atmosfera. Neste sentido, utilizar a técnica de covariância de vórtices turbulentos se faz necessário, no intuito de mensurar fluxos de energia, água e gases do efeito estufa.

Vourlits (2011) afirma que embora o ciclo de carbono tenha recebido especial atenção nas últimas duas décadas, interações entre variação climática e trocas líquidas de CO_2 no ecossistema de florestas tropicais ainda são incertos, sendo, portanto, passíveis de maiores estudos. Este trabalho tem o intuito de realizar análise comparativa entre duas regiões do estado de Mato Grosso, Cerrado campo sujo (Baixada Cuiabana) e Pantanal, em relação às variáveis micrometeorológicas, de solo, e dinâmica dos fluxos de massa e energia.

1.1. HIPÓTESES

- I. As variáveis micrometeorológicas e de solo que influenciam nos fluxos de NEE, GPP e ET, são distintas entre os ecossistemas.
- II. O Pantanal é uma constante bomba d'água para atmosfera, mantendo sempre alta a evapotranspiração, ainda que em período de seca.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é comparar dados micrometeorológicos, de solo, e fluxos de massa e energia de dois ecossistemas no estado de Mato Grosso, são eles: Baía das Pedras (Pantanal, com dados de 2014 à 2016) e Fazenda Miranda (Cerrado campo sujo, com dados de 2011 à 2013).

1.2.2. Objetivos Específicos

- I. Caracterizar e comparar as variações sazonais dos ecossistemas a partir de dados micrometeorológicos, de solo, e fluxos de massa e energia, e normalizar os dados para comparação, tendo em vista a análise por horizontes de anos distintos;
- II. Através de análise por Regressão Múltipla, saber qual ou, quais variáveis, seja ela da atmosfera, ou solo, mais influenciam os fluxos de GPP (produtividade primária

bruta), NEE (troca líquida de CO_2 no ecossistema) e ET (evapotranspiração), em cada bioma;

III. Gerar amostras bootstrap paramétricas dos dados brutos e normalizados do saldo de radiação R_n e suas componentes, fluxo de calor no solo (G), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H), comparando os resultados entre os períodos de chuva e seca dos ecossistemas;

IV. Discutir relação desmatamento/queimadas nos ecossistemas na retroalimentação de água na atmosfera por meio de diagrama de laço causal (DLC).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERIZAÇÃO

2.1.1 Cerrado

O Bioma Cerrado (Figura 1), é reconhecido como a Savana mais rica do mundo em biodiversidade, e ocupa cerca de 24% do território brasileiro, com a presença de diversas tipologias vegetais de riquíssima flora. Ocorre principalmente no Planalto Central Brasileiro e está presente em toda área do Distrito Federal e parte dos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, Rondônia, São Paulo e Tocantins.

É estimado que a cada três espécies nativas da região, ao menos uma é utilizada de alguma forma pelo homem. As centenas de espécies deste Bioma são exploradas a séculos pelos indígenas e pelos colonizadores de diversas maneiras, tais como: alimento, forragem, plantas para paisagismo, pasto apícola, material de construção, artesanatos e também obtenção de fibras, óleo, tanino, etc. Tornou-se um importante pólo de expansão da produção agropecuária do país, no entanto, resultando na eliminação de uma expressiva porção da cobertura vegetal nativa. (IBGE, 2020)

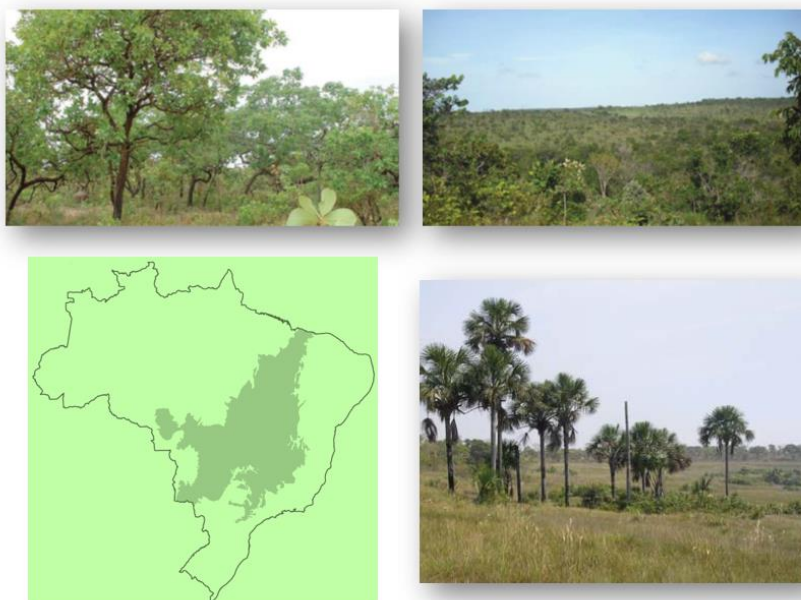


Figura 1: Cerrado Brasileiro.
Fonte: Adaptado de IBGE (2020).

De acordo com a classificação de Köppen, com base na temperatura média do

mês de julho (mais frio), foi mapeada a distribuição das classes climáticas para o Cerrado. Conforme Figura 2, existem dois tipos de climas predominantes para essa região, são eles (EMBRAPA, 2008):

- Megatérmico ou tropical úmido (A), com subtipo clima savana, com inverno seco e chuvas máximas de verão (w). O clima Aw prevalece em grande parte do Cerrado.
- Mesotérmico ou temperado quente (C), com inverno seco (tropical de altitude) e temperatura do média do mês mais quente maior do que 22 °C (wa), com ocorrência no sul e leste de Minas Gerais e em parte do Estado de Mato Grosso do Sul.

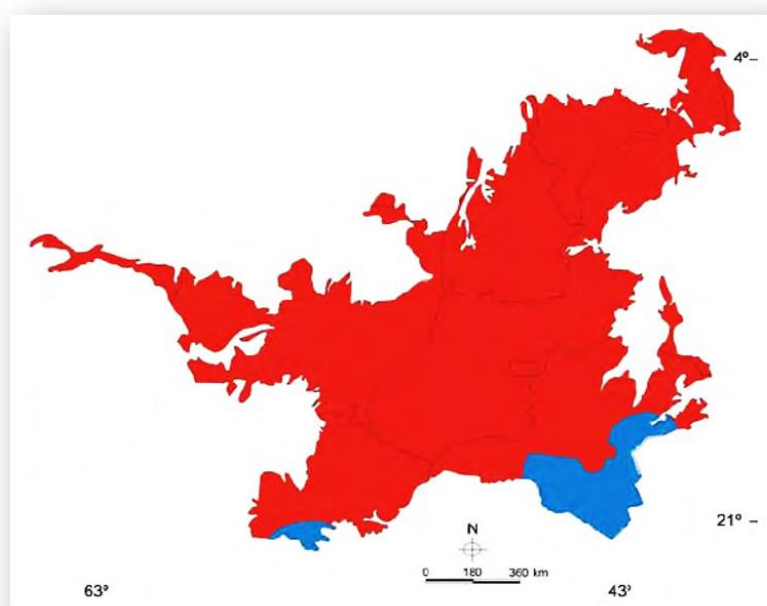


Figura 2: Tipos de clima predominantes no Bioma Cerrado, segundo a classificação de Köppen. Clima Cwa (azul) e Aw (vermelho).
Fonte: EMBRAPA (2008).

De acordo com EMBRAPA (2008), os fatores climáticos que definem a ocorrência do Cerrado são a alta disponibilidade energética durante todo o ano e a sazonalidade da distribuição da precipitação, sendo a estação úmida no verão e a estação seca no inverno. Analisando a Figura 3, é possível observar que há um aumento relativo da temperatura no sentido sul-norte do Bioma, com as médias anuais mais elevadas no sul dos estados do Maranhão e Piauí e no sudoeste da Bahia, onde é

possível encontrar temperaturas médias de 23°C à 27°C.

As temperaturas mais baixas são encontradas na parte sul, do extremo sudeste para o centro de Cerrado nos estados de Goiás, Minas Gerais, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul, com médias de 18°C à 22°C. A extensão das temperaturas baixas para o centro do bioma é devido ao efeito de altitude, este é mais intenso do que o efeito da continentalidade.

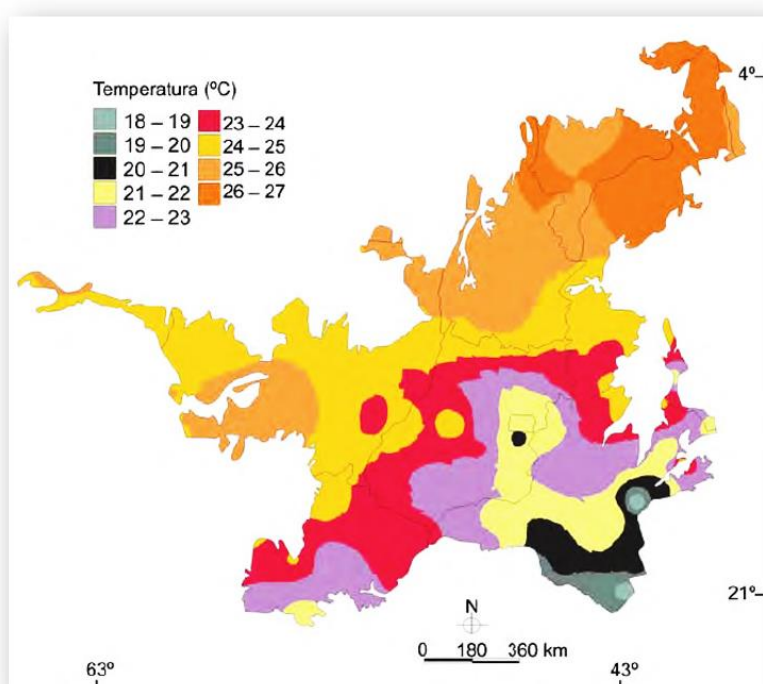


Figura 3: Temperatura média anual (°C) no Bioma Cerrado.
Fonte: EMBRAPA (2008).

As máximas temperaturas do Bioma variam de 24°C à 33°C, sendo que nas estações primavera-verão, as temperaturas mais elevadas possuem variação térmica de 24°C à 36°C. A temperatura de 36°C é predominante em grande parte dos estados do Maranhão, Piauí e Mato Grosso. Os valores mais baixos ocorrem nos estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul.

Nimer (1989) afirma que o principal mecanismo atmosférico que atua no cerrado de Mato Grosso é a massa de ar equatorial continental, presente entre a primavera e verão, proveniente do efeito térmico e da elevada umidade. A massa de ar é deslocada para o interior do País no sentido noroeste para sudeste, provocando chuvas e a massa de polar atlântica, esta caracterizada pelo acúmulo do ar polar. No

inverno ela atua com maior frequência, sentido sul para o norte, favorecendo as quedas de temperatura e estiagem.

O cerrado Mato-Grossense está em duas regiões hidrográficas do Brasil. A do Paraná, que ocupa uma área total de 169.488,663 km², e a região Hidrográfica do Paraguai, constituída pela bacia do rio Paraguai a oeste, que ocupa uma área de 187.636,301 km². Marcuzzo (2010) e seus colaboradores utilizaram dados obtidos através da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional das Águas (ANA) de 33 estações pluviométricas, espalhadas em toda área do Cerrado de Mato Grosso, com séries de dados de no mínimo 30 anos, e apresentaram a distribuição temporal e análise de regressão linear da precipitação pluviométrica de 1977 a 2006 para o cerrado de Mato Grosso, conforme Figura 4.

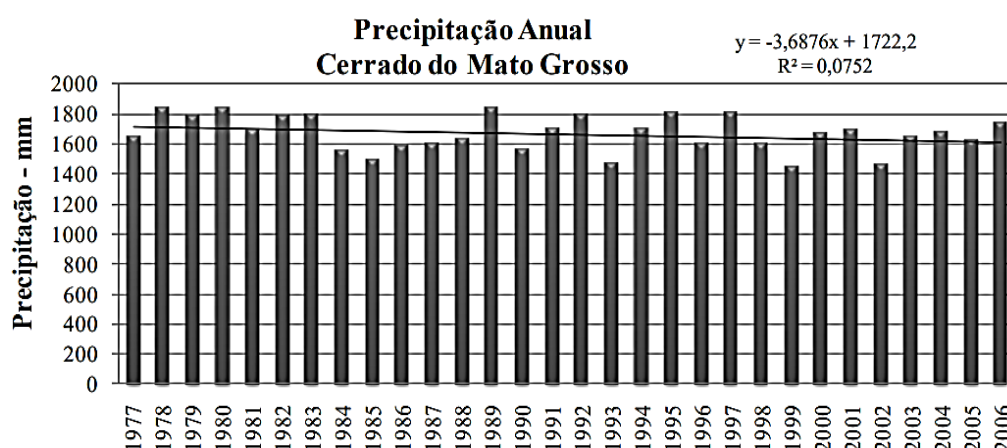


Figura 4: Distribuição temporal e análise de regressão linear da precipitação pluviométrica de 1977 a 2006, para o cerrado Mato-Grossense.

Fonte: Marcuzzo (2010).

De acordo com os autores, a maior precipitação observada no bioma do Cerrado Mato-Grossense, conforme Figura 4, para a soma histórica anual, foi de 1840,6mm no ano de 1980 e a menor foi de 1448,0mm no ano de 1999. Já a maior variação de precipitação anual, ocorreu no ano de 1992 (1785,4mm) para o ano de 1993 (1468,9mm). Nota-se que a partir de 1985 até 1989 a um acréscimo gradual da pluviosidade, em média na ordem de 5%. Observa-se também que as oscilações são pequenas, e as tendências de crescimento e decréscimo da pluviosidade fica em média, na ordem de 10%.

Em relação a umidade relativa do ar, e em termos de média anual, a %UR do Cerrado é moderada se comparada com umidades em áreas litorais e Amazônia. Através da Figura 5 é possível notar que a média anual de umidade relativa encontra-se entre 60-80%, sendo que as médias anuais mais baixas são encontradas em toda franja limítrofe com a Região Nordeste e em grande parte do estado de Goiás com valores variando de 60-70%.

Nos meses mais chuvosos (de novembro a março) a %UR varia de 60-90%, sendo que os índices mais elevados acontecem em Mato Grosso Mato Grosso do Sul, Tocantins, sul de Goiás e sul de Minas Gerais. No outono-inverno, coincidente com a estação seca na maior parte do Cerrado, acontece um decréscimo significativo da %UR e os menores índices podem ser verificados nos meses de agosto e setembro. EMBRAPA (2008).

A Evapotranspiração, que nada mais é do que a evaporação da umidade presente no solo ou água, e a transpiração resultante de atividades biológicas dos seres vivos, também foi verificada para todo o Cerrado Brasileiro pela Embrapa (2008), conforme observado na Figura 6. Varejão (2006) enfatiza que o Cerrado conta atualmente, com um número significativo de informações sobre evapotranspiração de referência, calculadas a partir das estações meteorológicas em funcionamento há mais de 30 anos, para períodos diários e mensais, em pontos estratégicos do Bioma, em têm sido de extrema relevância nos vários campos científicos, dentre eles: zoneamento agrícola, planejamento, construção e operação de reservatórios de água e sistemas de irrigação e drenagem.

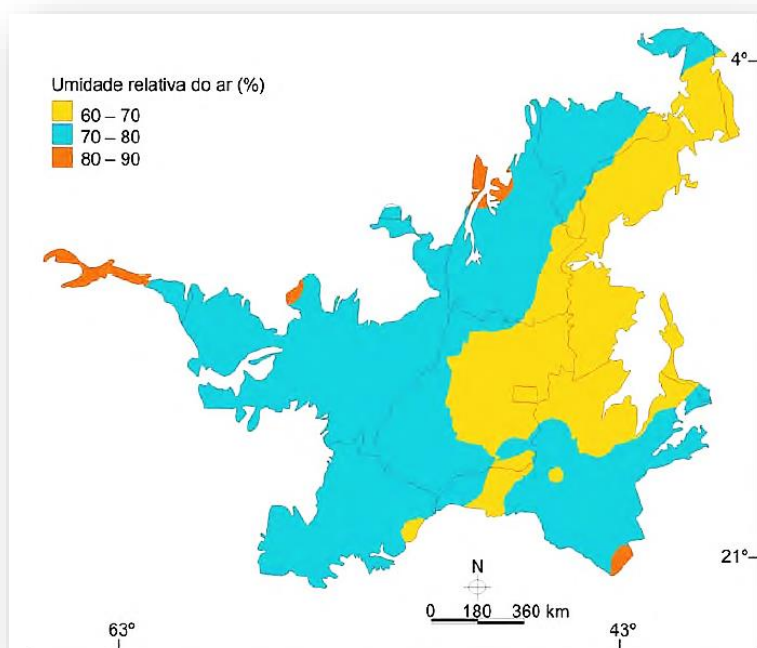


Figura 5: Média anual da umidade relativa do ar (%) no Bioma Cerrado.
Fonte: EMBRAPA (2008).

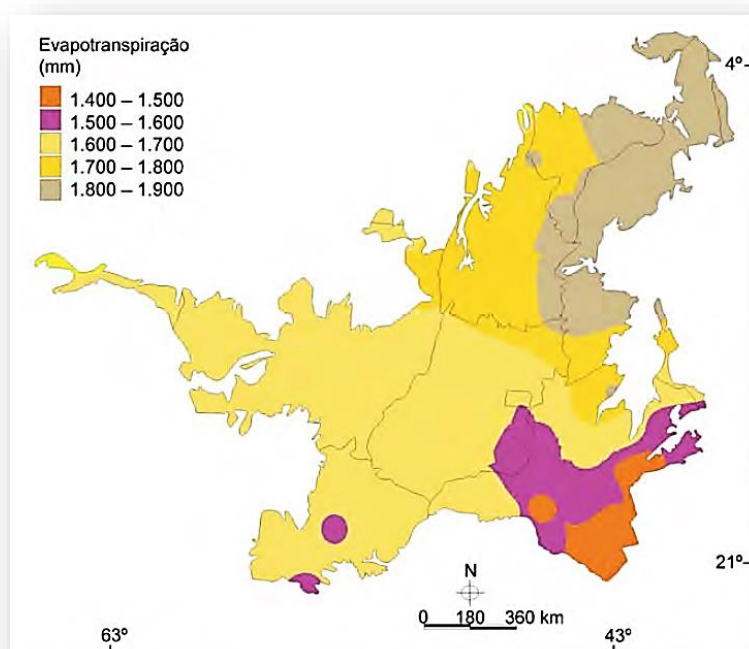


Figura 6: Variação espacial da evapotranspiração potencial anual (mm) no Bioma Cerrado.
Fonte: EMBRAPA (2008).

Através da Figura 6 também é possível observar que as maiores demandas hídricas climáticas do Cerrado encontram-se em áreas dos estados do Maranhão, Piauí e oeste da Bahia, com valores médios anuais oscilando entre 1.800 mm e 1.900 mm. Em maiores altitudes como ao sul e oeste de Minas Gerais, a evapotranspiração é reduzida, devido ao fato das temperaturas serem amenas, neste caso, os índices variam de 1.400 mm e 1.600 mm.

2.1.2 Pantanal

O Bioma Pantanal (Figura 7) é reconhecido como a maior planície de inundação contínua do planeta, ocupando aproximadamente 2% do território nacional e compartilhado pelos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Neste Bioma são encontrados representantes de quase toda fauna brasileira e, durante o período de inundação, parte dessa fauna se refugia nas áreas mais altas, retornando quando baixam as águas (IBGE, 2020).

A sua área aproximada é de 150.355 km², e em seu espaço territorial, o bioma que é uma planície aluvial, é influenciado por rios que drenam a bacia do Alto Paraguai. O Pantanal é influenciado diretamente por três importantes Biomas brasileiros, Cerrado, Amazônia e Mata Atlântica, e o Bioma ao norte do Paraguai e leste da Bolívia, denominado de Chaco (MMA, 2020).



Figura 7: Pantanal Brasileiro.

Cuiabá, os valores de %UR são superiores a 80%, com piso de 84% nos meses de fevereiro e março. É importante enfatizar que o setor norte possui um regime diferente do setor central e meridional do Pantanal, havendo, portanto, maior definição das estações de seca e chuva. A %UR em Cuiabá na primavera, agosto-setembro, cai abaixo de 58%, enquanto o resto do Pantanal, os menores valores são observados no final do inverno (agosto) e no início da primavera (setembro-outubro), esses valores não são menores que 62% (TARIFA, 1984)

De acordo com EMBRAPA (1997), as temperaturas máximas absolutas podem chegar a 40 °C nos meses de outubro a janeiro e as mínimas, próximas a 0 °C, em junho e julho. Soriano (1999) afirma que as médias anuais de precipitação e temperatura são em torno de 1.180 mm e 25,5 °C, respectivamente. Do total anual das chuvas, cerca de 80% ocorre nos meses de outubro a março.

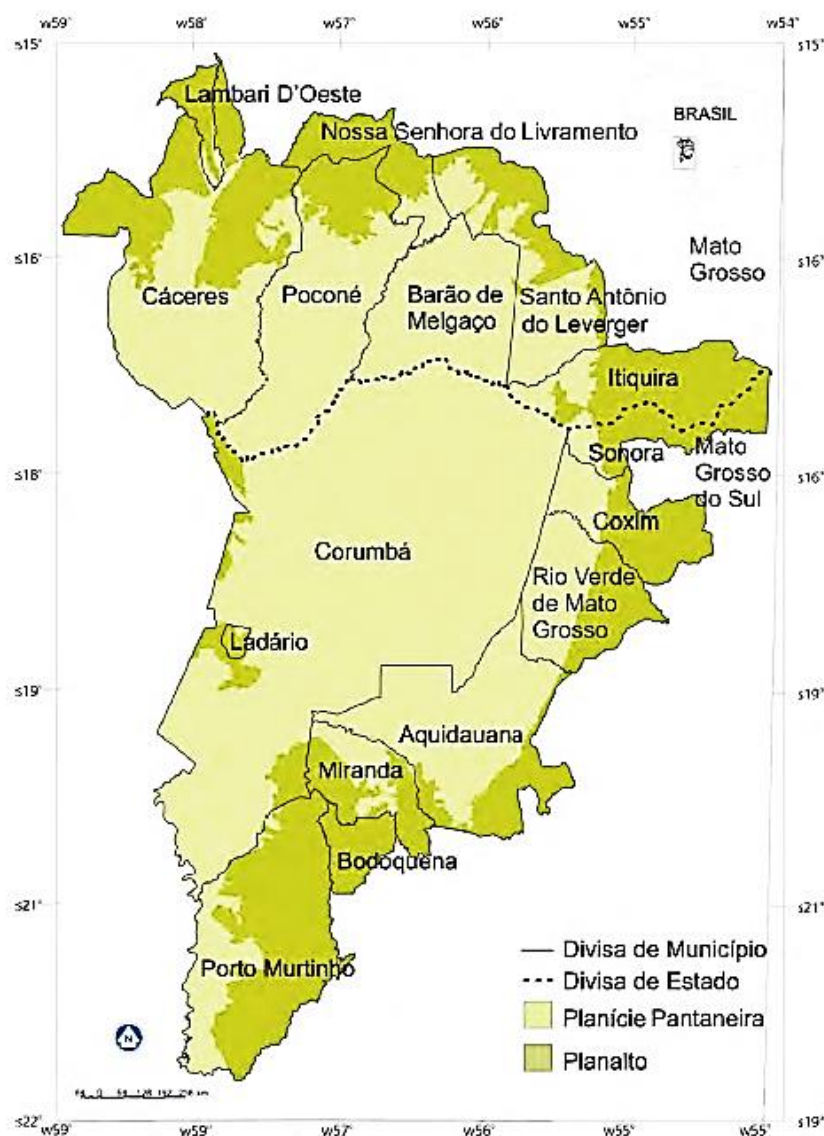


Figura 9: Divisão geopolítica do Pantanal Brasileiro.
Fonte: EMBRAPA (2008).

Amaral Filho (1984) declara que os solos são de origem sedimentar, ocorrendo em fases argilosa e arenosa de forma alternada e descontínua, com a dominância de solos hidromórficos compondo 92,5% do total.

As características de relevo e a concentração das chuvas durante o verão na BAP estão diretamente ligadas as cheias no Pantanal. O relevo dessa extensa planície, caracteriza-se por apresentar altitudes inferiores a 200 metros, e declividades de 7 a 50 cm/km no sentido Leste-Oeste, e de apenas 0,7 a 5 cm/km no sentido norte-sul, sendo praticamente plano. Isso torna o escoamento de suas águas muito lento, favorecendo a inundação de extensas áreas. As cheias no norte do Pantanal, nas regiões

de Cuiabá e Cáceres, no Estado de Mato Grosso, ocorrem durante o período mais chuvoso, de janeiro a março. (EMBRAPA, 2005)

De acordo com EMBRAPA (2005), devido à baixa declividade, as cheias no Pantanal deslocam-se lentamente no sentido norte-sul e de leste para oeste, demorando até 3 meses para atravessar a região, chegando em pleno período de estiagem ao limite sul do Pantanal. Sendo assim, no período chuvoso, de janeiro a março, ocorrem as cheias nas regiões de Cuiabá e Cáceres, no Estado do Mato Grosso, limite norte, e entre abril e julho, na região de Corumbá, Mato Grosso do Sul. A Figura 9 apresenta a divisão geopolítica do Pantanal brasileiro.

2.2. RIOS VOADORES VS DESMATAMENTO

Os rios voadores são cursos de água atmosféricos, invisíveis, formados por vapor d'água, muitas vezes acompanhados por nuvens, propelidos pelos ventos. São os ventos alísios, perto da linha do Equador, que sopram de leste para oeste e que trazem a umidade evaporada do Oceano Atlântico em direção ao continente sul-americano. Ao cair a chuva na Floresta Amazônica, ocorre a evaporação devido ao calor do sol e pela evapotranspiração das árvores. Sendo assim, o ar se carrega com mais umidade e continua sendo transportado rumo ao oeste para proporcionar novas chuvas. Quando se encontra com a cordilheira dos Andes, são forçadas rumo ao sul, levando umidade para outras regiões do País (RIOS VOADORES, 2010).

A expressão “rios voadores” foi criada pelo pesquisador José Marengo (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE), e é uma analogia aos rios terrestres, mas estes são “rios aéreos”. O termo mais formal é “Jatos de Baixos Níveis da América do Sul”. A Figura 10 mostra o caminho percorrido pelos rios voadores desde a evaporação da água no Oceano Atlântico.

Marcondes (2019) afirma que é exatamente graças aos rios voadores da Amazônia, e a cordilheira dos Andes, que as regiões como por exemplo São Paulo e Paraná, são uma das mais férteis do mundo. Em outras regiões na mesma latitude de São Paulo e Paraná, são encontrados desertos como Atacama, no Chile, ou mesmo o Kalahari, na África do Sul. Na mesma latitude, pode-se citar ainda o deserto de Vitória na Austrália. É importante enfatizar que cerca de 12% de toda água doce de superfície

escorre pela Amazônia e essa floresta é uma imensa bomba d'água, puxando a umidade evaporada do Oceano Atlântico.

O bioma Pantanal depende das chuvas provenientes da Amazônia, através dos chamados “rios voadores”, alimentando os rios e as cheias pantaneiras, também denominadas de pulsos de inundação (RUPPENTHAL, 2020). Esses cruciais pulsos possuem a capacidade de regular os processos ecológicos, e são responsáveis, como um todo, pela produtividade do bioma, e qualquer alteração no ecossistema Amazônia, influencia nos pulsos de inundação do Pantanal e climas locais, podendo-se dizer que de certa forma, como uma cadeia, ou mesmo um processo natural, acaba por influenciar negativamente também, a médio e longo prazo, na produtividade da agricultura na parte Sul do Brasil, por conta de períodos de seca prolongados.

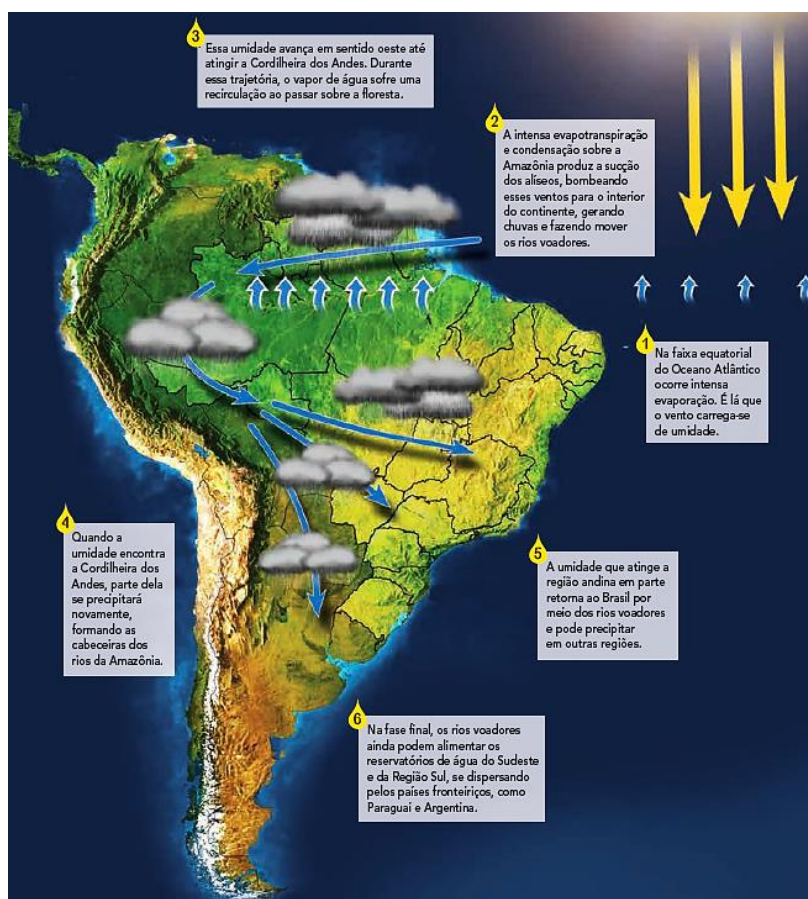


Figura 10: o caminho percorrido pelos rios voadores.
Fonte: RIOS VOADORES (2010).

Fearnside (2015) associou a seca em São Paulo de 2014-2015 com a possível redução da eficiência dos rios voadores, especialmente em relação aos fatos dos desmatamentos ocorridos na Amazônia, já que isso reduz a evapotranspiração e o fornecimento de vapor d'água, implicando em custos econômicos e sociais na região centro-sul do Brasil. É enfatizado também que São Paulo e outras cidades já estão no limite ou além dele para água disponível, tanto para uso doméstico como para geração de energia hidrelétrica. Esses acontecimentos deveriam produzir consciência em relação aos desmatamentos e elevar a importância da água transportada por correntes de ar.

Uma análise importante foi realizada por Spracklen (2012) e ilustrada por Aragão (2012), conforme Figura 11, onde é possível notar os efeitos do desmatamento nas chuvas nos trópicos. Na parte “a”, grande parte das chuvas nas florestas tropicais vem do vapor de água que é transportado pela atmosfera de um outro lugar. Mas um grande componente é chuva 'reciclada' (água que é bombeada por árvores do solo para a atmosfera através de um processo chamado evapotranspiração). A água sai das florestas como escoamento para córregos e rios, ou como vapor evapotranspirado, que é levado pela atmosfera. O transporte atmosférico do vapor de água dentro da floresta é equilibrado pela saída de água na forma de vapor e escoamento. Na parte “b”, Spracklen e colaboradores sugerem que o desmatamento reduz a evapotranspiração e inibe a reciclagem da água. Isso diminui a quantidade de umidade transportada pela atmosfera, reduzindo as chuvas em outras regiões adiantes, regiões para as quais a umidade é transportada. A diminuição da evapotranspiração também pode aumentar a escoamento e aumento dos níveis dos rios.

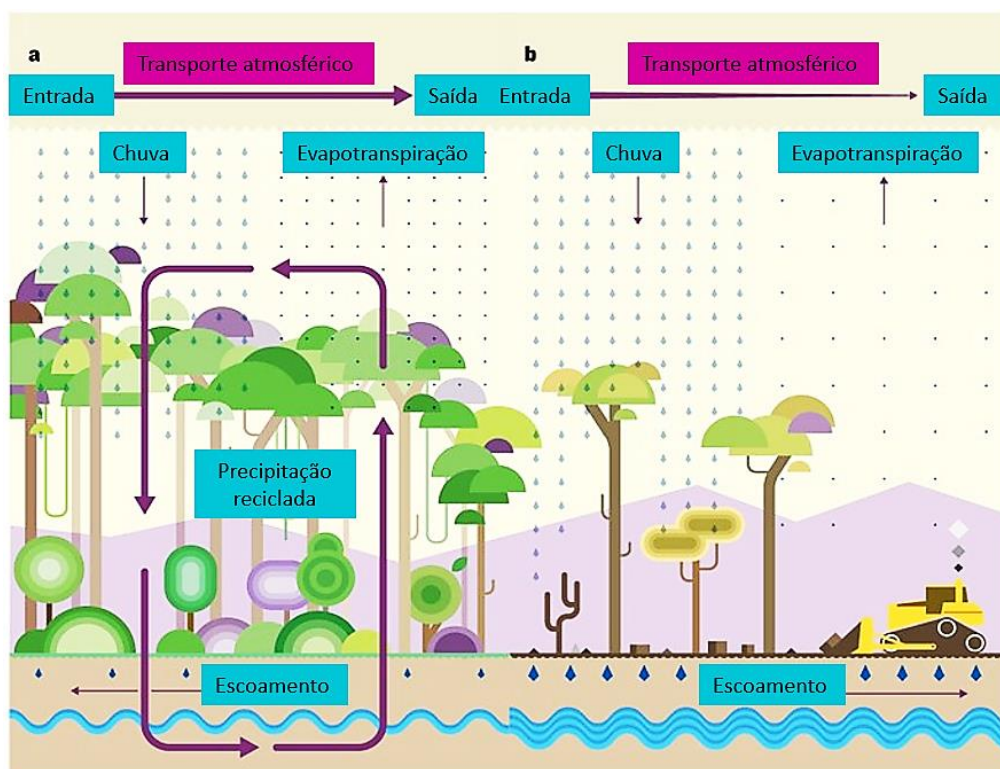


Figura 11: Efeito do desmatamento em relação às chuvas nos trópicos.

Fonte: Adaptado e traduzido de ARAGÃO (2012).

Para se ter uma ideia do quanto é importante áreas de florestas na questão da evapotranspiração, estima-se que uma árvore de 10 metros de diâmetro de copa, ocupando uma área de 83 m^2 no dossel da floresta, lança sozinha na atmosfera 300 litros de água em um único dia, e uma árvore mais frondosa, com cerca de 20 metros de copa, bombeia mais de 1.100 litros para a atmosfera no mesmo período. É possível extrapolar esse cálculo para toda Floresta Amazônica (5,5 milhões de Km^2), chegando a um número de 20 trilhões de litros de água por dia. Esta quantidade de água evapotranspirada por todas as árvores em um só dia, é maior do que despejo de água doce do rio Amazonas no Oceano Atlântico no mesmo período (RIOS VOADORES, 2010).

Aragão (2012) cita também que as perdas por desmatamento na Floresta Amazônica provavelmente reduzirão as chuvas em todas as bacias em 12%, durante as estações chuvosas, e por volta de 21%, durante as estações de secas, ocasionando aumento nas frequências de períodos de seca até o final deste século, com um possível aumento da temperatura global em 3°C . As mudanças ocorridas no clima regional,

podem também reduzir os estoques de carbono, aumentar a mortalidade das árvores por conta da seca, aumentar as queimadas, sem contar na redução da biodiversidade.

Dados alarmantes e que não podem ser ignorados, foram divulgados através do recente Relatório Anual do Desmatamento do Brasil referente ao ano de 2019, onde de um total de 56.867 alertas em todo território nacional, houve desmatamento em 1.218.708 *ha* (12.187 *Km*²). Deste total, a Amazônia corresponde a 770 mil *ha*, seguido pelo bioma Cerrado com 408,6 mil *ha*, Pantanal com 16,5 mil *ha*, Mata Atlântica com 10,6 mil *ha*, Caatinga com 12,1 mil *ha* e Pampa com 642 *ha*. Em termos de área desmatada, as maiores são observadas nos estados: Pará (299 mil *ha*), Mato Grosso (202 mil *ha*) e Amazonas (126 mil *ha*). Juntos estes três estados responderam por mais da metade das áreas de desmatamento detectado no País. Estarrecedor é saber que apenas 0,5% de toda a área desmatada está dentro da legalidade (MAPBIOMAS, 2020).

Juntos, Amazônia e Cerrado representam 96,7% da área desmatada. Esses são os dois biomas melhores monitorados no Brasil, contando com sistemas de monitoramento contínuos do desmatamento com abordagens metodológicas adaptadas para as respectivas regiões, são eles: o DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real do INPE, nos biomas Amazônia e Cerrado), SAD (Sistema de Alerta de Desmatamento do Imazon, na Amazônia). Os demais biomas contam com dados do GLAD (*Global Land Analysis and Discovery* da Universidade de Maryland)

Sendo assim, monitorar o clima, bem como variáveis micrometeorológicas do Pantanal como um todo, e também do Cerrado, se faz necessário, pois alterações nestes ecossistemas, podem indicar relação com os acontecimentos na Amazônia. Neste sentido, é possível que o Pantanal seja uma constante bomba d'água para atmosfera, contribuindo para transferência dos rios voadores em direção a América do Sul, se comportando como um impulsionador de transporte de vapor atmosférico, mas que pode ser consideravelmente afetado, considerando os acontecimentos ilegais ao longo de décadas.

2.3 RELAÇÃO DESMATAMENTO E QUEIMADAS NO CERRADO E PANTANAL NA RETROALIMENTAÇÃO DE ÁGUA DA ATMOSFERA

É correto dizer que o Cerrado é o coração do Brasil, conhecido também como o “berço das águas”, ou ainda “caixa d’água do Brasil”. Ocupa cerca de $\frac{1}{4}$ do território brasileiro, e é a região de onde brotam veios d’água que alimentam grande parte das bacias hidrográficas do País e também sul-americanas. É o berço das nascentes das maiores bacias da Amazônia e Rio da Prata, rio este localizado na América do Sul, entre o Uruguai e a Argentina, estuário dos rios Paraná e Uruguai, tendo como ponto de desagüe, o oceano Atlântico.

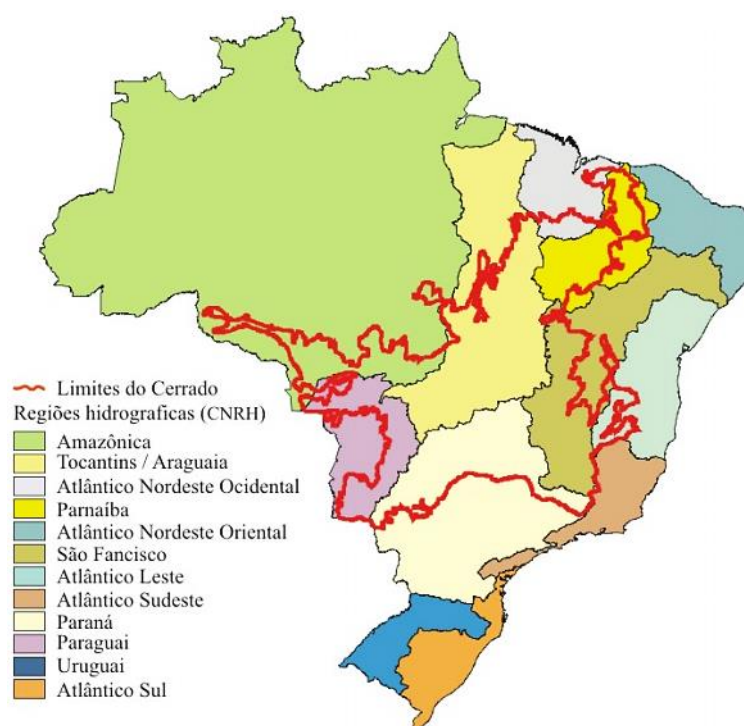


Figura 12: Localização do Cerrado em relação às 12 grandes regiões hidrográficas brasileiras instituídas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)

Fonte: Lima (2007).

De acordo com o ISPN (2020), das doze principais regiões hidrográficas (Figura 12) do Brasil, 8 têm nascentes na região do Cerrado: a bacia Amazônica (rios Xingu, Madeira e Trombetas); a do Rio Tocantins-Araguaia (rios Araguaia e Tocantins); a Atlântico Nordeste Oriental (Rio Itapecuru); na Bacia do Parnaíba (rios Parnaíba, Poti e Longá); na do São Francisco (rios São Francisco, Pará, Paraopeba, das Velhas, Jequitáí, Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente e Grande); na do Atlântico

Leste (rios Pardo e Jequitinhonha); na Bacia do Paraná (rios Paranaíba, Grande, Sucuriú, Verde e Pardo); na do Paraguai (rios Cuiabá, São Lourenço, Taquari e Aquidauana).

Há grande contribuição do Bioma Cerrado para as águas do Brasil, demonstrando uma forte dependência hidrológica das bacias em relação do bioma. Em termos espaciais, pode-se citar: 78% da área da bacia do Araguaia-Tocantins, 47% da área do São Francisco e 48% do Paraná/ Paraguai estão inseridas no bioma. A região, contribui também com a maior parte da água que alimenta essas três bacias: 71% da produção hídrica da bacia do Araguaia/Tocantins, 94% do São Francisco e 71% do Paraná/Paraguai (ISPN, 2020).

No extremo nordeste do Distrito Federal, na “Estação Ecológica de Águas Emendadas”, há uma vereda de aproximadamente 6 km de extensão, de onde nascem os cursos d’água que abastecem tanto a bacia do Tocantins, quanto a do Paraná, dois dos mais importantes rios brasileiros. Também no Cerrado estão as nascentes dos rios que formam o Pantanal, que nada mais é do que um “Cerrado inundado”.

De acordo com o IPAM (2019), as queimadas estão diretamente relacionadas à ação humana e as chamas costumam seguir os rastros do desmatamento, e quanto maior é a derrubada, maior é o número de focos de calor. No geral, queimadas estão relacionadas à causa humana. Nepstad (1999) afirma que secas mais intensas e prolongadas, reduzem a umidade do solo das florestas, e criam condições para as chamas de alastrarem com maior facilidade, aumentando a probabilidade de haver grandes incêndios florestais.

Para se ter noção do tamanho da influência que as queimadas exercem entre bioregiões sul-americanas, em 19 de agosto de 2019, o chamado “rio de fumaça” escureceu a cidade de São Paulo, resultado de queimadas que ocorreram de quatro a sete dias antes nas regiões Centro-Oeste e Norte, entre Paraguai e Mato Grosso, abrangendo trechos da Bolívia, Mato Grosso do Sul e Rondônia, provocando um declínio de 13°C na temperatura, se comparado a um dia anterior, e também ocasionando chuva acinzentada, influenciando na degradação da qualidade do ar, especialmente nas cidades mais próximas da região onde ocorreram as queimadas, como Cuiabá, Manaus e Porto Velho (FAPESP, 2019).

Há uma relação de interdependência entre Amazônia, Cerrado e o Pantanal, e qualquer alteração no ecossistema Amazônia/Cerrado, influencia nos pulsos de inundação do Pantanal e climas locais. Somente na Amazônia, de acordo com Brando *et al.* (2014), entre os anos de 2007 e 2010, a estação seca no sul da Amazônia foi mais intensa que o normal, ocasionando queimadas em grandes áreas da floresta. Além do mais, nas últimas duas décadas, é possível observar na Amazônia certa frequência de secas extremas (BRANDO *et al.*, 2019). Sendo assim, é possível inferir que a intensidade da estação seca determina maior incidência ou não de fogo (ARAGÃO *et al.*, 2018).

Um estudo realizado por Longo *et al.* (2020) afirma que em florestas degradadas, a extração de madeira e os incêndios, mudam a maneira como a floresta se comporta, pois florestas degradadas podem bombear menos água para a atmosfera e absorver menos dióxido de carbono da atmosfera. Somente na Amazônia, em áreas degradadas, durante a estação seca, a floresta é 6,5°C mais quente, e bombeia 1/3 (um terço) menos de água ($400.000l\ ha^{-1}mês^{-1}$), e absorve menos de 1/3 de carbono ($1\ TonC\ ha^{-1}mês^{-1}$).

A Figura 13 apresenta os dados de desmatamento anuais dos biomas Amazônia Legal (A), Cerrado (B) e Pantanal (C), por estado e em km^2 . De acordo com a nota técnica do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI, 2023), o estado com maior contribuição absoluta de desmatamento na Amazônia Legal é o Pará, com $5.257\ km^2$. Há um crescimento também entre os anos de 2020 e 2021 do desmatamento em todos os estados da Amazônia Legal. Esse aumento também pode ser observado no Bioma Cerrado a partir de 2020 e no Bioma Pantanal a partir de 2018, especialmente em Mato Grosso do Sul.

De acordo com Zemp *et al.* (2014), a principal fonte continental de precipitação sobre a América do Sul é a bacia amazônica, com grande heterogeneidade no tempo e no espaço. Cerca de 70 a 80% da evapotranspiração na parte sul da bacia amazônica cai como precipitação sobre o continente durante a estação chuvosa, mas apenas 30 a 40% durante a estação seca. Além do mais, a reciclagem da umidade continental, que é o processo pelo qual a evapotranspiração de um determinado local do continente contribui à precipitação em outro local do continente, é de importância crucial para os

padrões de precipitação da América do Sul.

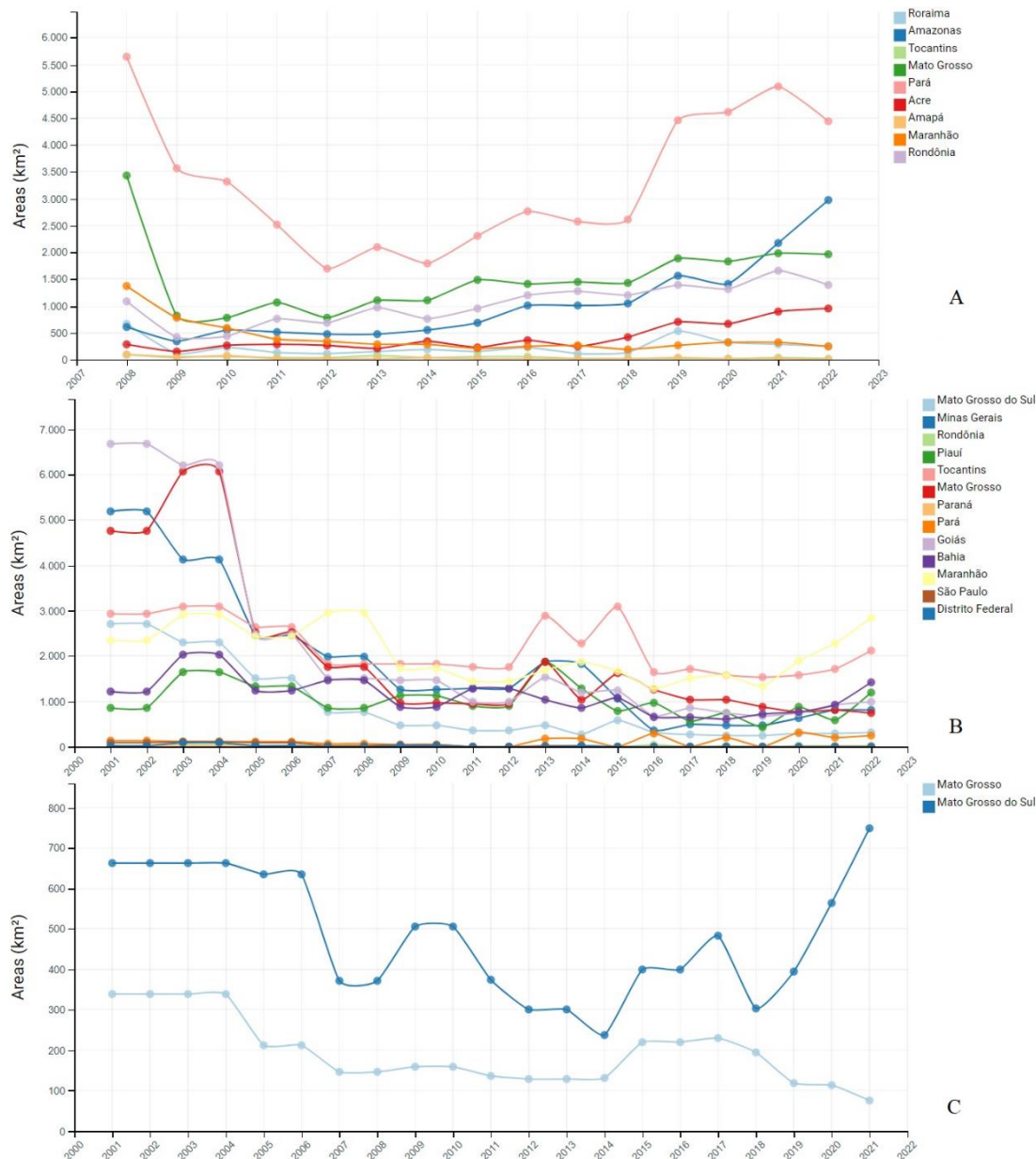


Figura 13: Dados de Desmatamento anuais dos biomas Amazônia Legal (A), Cerrado (B) e Pantanal (C), por estado, em km^2 .

Fonte: INPE (2023)

É real a importância da Amazônia, e a contribuição que este bioma proporciona ao Cerrado e o Pantanal Brasileiro, e também para os rios voadores em direção a América do Sul, e a relação seca queimada desmatamento, além de prejudicar substancialmente esses Biomas, também prejudicará a transferência dos rios voadores.

A Savana brasileira (Cerrado) é um *hotspot* com a segunda maior taxa de desmatamento no Brasil (MAPBIOMAS, 2020; STRASSBURG *et al.*, 2017), bem como detêm o maior número de incêndios florestais e áreas queimadas (SCHMIDT, 2020). Chambers e Artaxo (2017) relatam que o desmatamento interrompe os processos hidrológicos, interferindo na precipitação, e que os efeitos no clima dependem do tamanho da escala espacial de perturbação, como o tamanho do desmatamento, por exemplo. Escalas como de aproximadamente 1 km não são grandes o suficiente para perturbar os fluxos de transpiração, mas escalas acima de 200 km cortam grande parte da bomba d'água de transpiração. Muitas dessas áreas são desmatadas com o intuito de conversão para pastagens ou para culturas agrícolas.

Um estudo realizado por Silva *et al.* (2010) especificamente sobre o Pantanal analisando o desmatamento no período de 1976 à 2008, mostrou que quando se considera o Pantanal como planície de inundação, o desmatamento no período passou de 635 km^2 para 16.798 km^2 , com um aumento de 26,5 vezes; considerando o Pantanal como Bioma, o desmatamento passou de 971 km^2 para 22.959 km^2 , com um aumento de 23,6 vezes; na bacia, o desmatamento passou de 11.417 km^2 para 148.200 km^2 , com um aumento de 13,0 vezes. Essas extensas áreas desmatadas são mais do que suficientes para perturbar os fluxos de transpiração no Pantanal, conforme relação observada por Chambers e Artaxo (2017).

Terra (2012) realizou uma projeção futura de desmatamento no Pantanal para os anos de 2022 e 2050, utilizando dados históricos de 1976, 1994 e 2008, e se valendo de cadeias de Markov e cadeias de Markov acopladas a um algoritmo de autômato celular, e foi possível inferir que já em 2022, praticamente metade da BAP terá cobertura natural, e 50% estará desmatada. Os resultados são ainda mais alarmantes considerando que em 2050 apenas 36% da paisagem terá cobertura natural, reforçando um desmatamento acelerado e que, sem as devidas medidas de controle, como revisão de leis que são aplicadas atualmente no Pantanal, e a conscientização da importância da preservação/conservação da área, corre-se sérios riscos de corte na retroalimentação de água na atmosfera.

Um dos fatores que motivaram e ainda motiva o desmatamento no Cerrado, na Amazônia e no Pantanal, é a ampliação da criação de rebanho bovino desde a década de 1970, o que no ímpeto por melhoria da produtividade, houve intensa substituição

de pastos naturais e de florestas por pastagens plantadas. Entre 1975 e 2006 foram observadas expansões na ordem de 28% na atividade pecuária em alguns municípios do estado de Mato Grosso, como: Barão do Melgaço, Cáceres, Poconé e Santo Antônio do Leverger. O crescimento da produção de cana de açúcar em São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Leste de Mato Grosso do Sul e sul de Goiás, em regiões que antes detinham forte pecuária, intensificou indiretamente o avanço da pecuária sobre outros biomas. Outro fator de incentivo à pecuária, é o constante aumento da demanda e do preço da carne bovina (GIRARD e ROSSETTO, 2011).

Assim como a seca, a substituição de pastos naturais e de florestas por pastagens plantadas, para o uso da agricultura, aumenta consideravelmente as emissões de carbono na atmosfera, e mesmo que ecossistemas intactos possuam capacidade de sequestro de parte dessas emissões, ainda não é o suficiente para balancear a relação de emissão/sequestro de CO_2 . Essa relação foi estudada por Galford *et al.* (2011), onde observou-se que no Estado de Mato Grosso, o balanço líquido de carbono no período compreendido entre 1901 e 2006, levou a liberação de 4,8 Pg C para atmosfera, sendo que aproximadamente 80% dessa emissão está relacionada diretamente com o desmatamento e 20% é proveniente de limpeza no Cerrado. A absorção de carbono pela cobertura natural da terra é de apenas 0,3 Pg C, ou seja, diminuindo da liberação total, ainda há emissão na ordem de 4,5 Pg C.

2.4 FLUXOS E BALANÇO DE CARBONO

A distribuição de carbono na natureza se dá de duas formas, a primeira (cerca de 0,06%) está na atmosfera, oceanos e plantas. Já na segunda forma (cerca de 99,94%), podem ser encontrados nas rochas e sedimentos oceânicos (BERNER e LASAGA, 1989).

Pacheco (1990) afirma que a maior parte do carbono encontrado na terra encontra-se estocado nas camadas geológicas e nos sedimentos oceânicos, sob a forma de carbonatos, de carvão e de petróleo, e os três principais reservatórios de carbono capazes de fazer trocas entre si e que compõem o ciclo biogeoquímico do carbono são: atmosfera, oceanos e biosfera terrestre.

Fluxos de carbono nada mais são do que quantidades de carbono transferidos de um reservatório para outro por unidade de tempo, devido a processos físico-bio-geo-químicos, sendo que os fluxos ocorrem entre os três reservatórios principais, tendo a atmosfera um papel intermediário; em primeira aproximação, as trocas diretas entre biomassa continental e oceanos são negligenciáveis e todas as trocas entre esses dois reservatórios se produzem pelo intermédio da atmosfera (PACHECO, 1990). A Figura 14 exemplifica os fluxos de carbono entre os reservatórios de CO_2 .

De acordo com Asseng e Hsiao (2000) as dinâmicas dos fluxos de CO_2 e água são consideradas as mais importantes transferências de massa entre a superfície e o ar adjacente. Segundo Baldocch (1994), a densidade de fluxo de CO_2 , sobre o dossel de uma vegetação, representa a diferença entre os ganhos por fotossíntese pelas folhas e as perdas pela respiração das próprias folhas, raízes e do solo.

O subsolo possui a capacidade de produzir CO_2 através de alguns fatores, tais como: decomposição da matéria orgânica, ação de organismos heterotróficos e através da respiração das próprias raízes (CLARK e PAUL, 1996). Giongo *et al.* (2011) relata que dependendo do tipo de solo, há variação na quantidade de carbono estocado, sendo que nos períodos de chuva, os microrganismos atuam de maneira mais intensa, produzindo maior quantidade de CO_2 do que em solos arenosos.

Souza Costa *et al.* (2008) cita que transferência de CO_2 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 CO_2 para atmosfera.

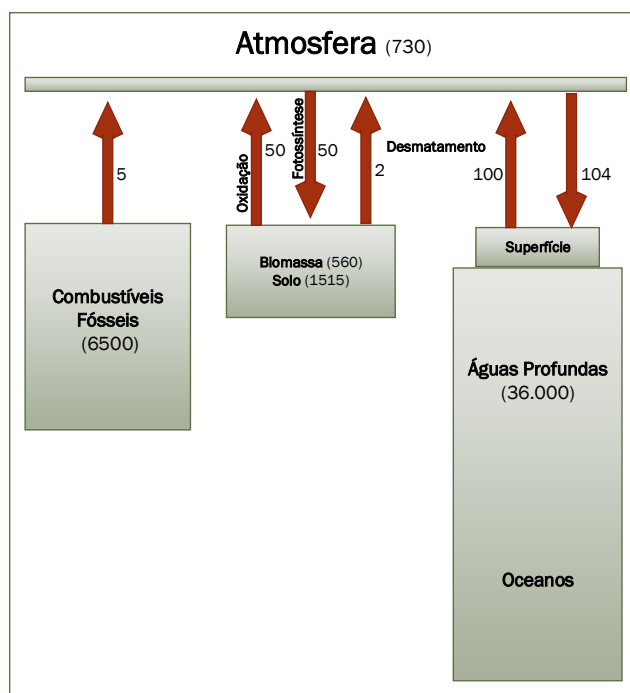


Figura 14: Reservatório e fluxos de carbono (em bilhões de toneladas)

Fonte: Adaptado de Houghton e Woodwell (1989)

Um estudo no Pantanal, como o de Pereira *et al.* (2013), apontou para 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. Em recentes trabalhos, também no Pantanal, como o de Dalmagro (2018), demonstrou que os pulsos de inundação que ocorrem sazonalmente neste bioma interferem no balanço de carbono, mostrando que tanto o CO_2 como também o CH_4 , apresentam valores máximos durante o início e o final do ciclo de alagamentos. Em 2019, outro estudo foi realizado por Dalmagro (2019), onde constatou-se também um aumento nas emissões CO_2 durante a fase aeróbica (solo não inundado) e absorção de CO_2 durante a fase anaeróbica (inundação), sendo que, no geral, o Pantanal é um grande sumidouro de carbono.

Dados de De Arruda (2014), em estudo no Cerrado campo sujo, mostrou que as taxas de absorção de CO_2 são mais altas durante as estações chuvosas e declinam entre transição de estação chuvosa para seca em maio, e alertou para uma importante relação entre o NEE e a disponibilidade hídrica do ecossistema. O Cerrado campo sujo se comportou como uma pequena fonte diária líquida de CO_2 para atmosfera durante 4 ou 5 meses da estação seca.

A estimativa do fluxo de CO_2 entre uma superfície vegetada e a atmosfera pode ser realizada por meio de diversas técnicas micrometeorológicas, e a principal vantagem em empregá-las é justamente o fato delas não interferirem modificando o ambiente (objeto de estudo). De acordo com Meyers (1996) e Angell (2001) os principais métodos micrometeorológicos de estimativa da produtividade primária líquida são o de correlação de vórtices turbulentos (*Eddy Covariance*) e o da razão de Bowen modificada (*Modified Bowen Ratio*)

Os fluxos de dióxido de carbono (CO_2) do ecossistema podem ser obtidos através do método de covariância de vórtices turbulentos, método utilizado neste trabalho. A troca líquida de CO_2 no ecossistema é denominada de *NEE*, e nada mais é do que a diferença entre o CO_2 absorvido pela fotossíntese e o perdido pela respiração. O sinal negativo significa que há uma absorção de CO_2 , e o positivo uma emissão de carbono. De acordo com Lee (1998), o *NEE* pode ser determinado pela soma dos fluxos de CO_2 medidos pelos sensores fixados na torre e pela taxa de armazenamento na camada mais abaixo, conforme Equação 1.

$$NEE = F_c + \text{armazenamento} \quad (1)$$

Onde,

NEE: troca líquida de CO_2 no ecossistema;

F_c : fluxo de CO_2 medido pelo método de covariância de vórtices turbulentos.

Conforme Teichrieb (2012), as trocas líquidas de CO_2 entre um ecossistema e a atmosfera (*NEE*) pode ser particionado em: assimilação bruta de CO_2 devido a fotossíntese (*GPP*) e a liberação de CO_2 devido respiração total do ecossistema (*Re*). Assim, o *NEE* pode ser obtido pela soma da produção primária bruta (*GPP*) com a respiração do ecossistema (*Re*). Desta forma o *GPP* representa a assimilação de CO_2 pela fotossíntese da planta e a *Re* representa a respiração do solo, caule, folhas e raízes das plantas. A Equação 2 apresenta um modelo para estimativa da respiração e do *GPP*, sendo que no período diurno, o *NEE* pode ser representado como:

$$NEE = GPP - R_e \quad (2)$$

É possível extrapolar a estimativa para o período noturno, na qual não ocorre assimilação de CO_2 pelas plantas, sendo assim $GPP = 0$, neste caso, tem-se NEE igual a R_e .

$$NEE = R_e \quad (3)$$

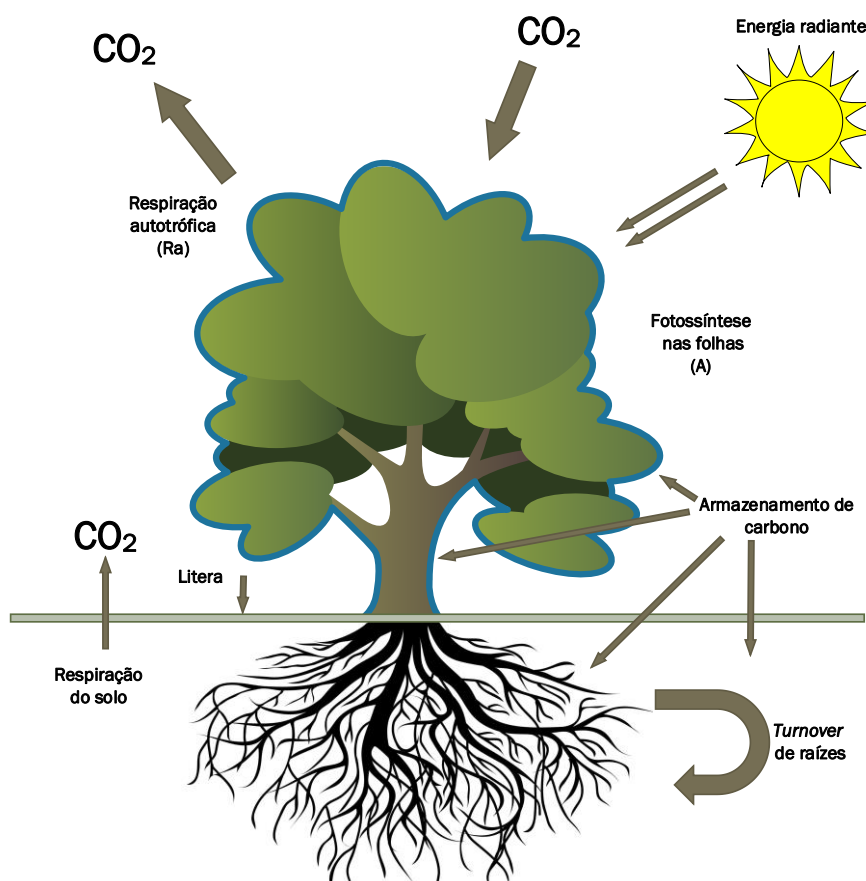


Figura 15: Diagrama esquemático ilustrando os componentes principais do balanço de carbono em ecossistemas vegetados.

Fonte: Adaptado de DE ARRUDA (2014).

A Figura 15 mostra um diagrama esquemático ilustrando os componentes principais do balanço de carbono em ecossistemas vegetados. Conforme pode-se observar, o CO_2 é absorvido da atmosfera e fixado via fotossíntese (A), resultando em carbono armazenado nas folhas, caules e raízes. A respiração autotrófica (R_a) devolve CO_2 para a atmosfera. Littera e *turnover* de raízes fornecem carbono ao solo, onde a respiração heterotrófica devolve CO_2 para a atmosfera (DE ARRUDA, 2014).

2.5 COVARIÂNCIA DE VÓRTICES TURBULENTOS

O Fluxo de ar pode ser imaginado como um fluxo horizontal de numerosos redemoinhos (vórtices) rotativos. Cada redemoinho tem componentes 3D, incluindo movimento vertical do ar. Embora a situação parece caótica, esses componentes podem ser medidos a partir de uma torre. A Figura 16 mostra o fluxo de ar representado por uma grande flecha que passa através da torre, e consiste de redemoinhos de tamanhos diferentes. Conceitualmente, essa é a estrutura para um redemoinho de transporte atmosférico.



Figura 16: Fluxo de ar representado por uma grande flecha que passa através da torre, e consiste de redemoinhos de tamanhos diferentes.

Fonte: Adaptado de LI-COR BIOCIENCES (2013).

Mais perto do chão, há maior probabilidade de redemoinhos menores sendo responsáveis pelo transporte da maioria do fluxo. Redemoinhos menores giram mais rápido e, portanto, o transporte é executado por movimentos de alta frequência. Quanto mais distante do chão, há probabilidade maior de ocorrência de redemoinhos mais fortes, portanto maiores, sendo responsáveis pelo transporte da maior parte do fluxo. Redemoinhos maiores giram mais devagar e, portanto, o transporte é realizado por movimentos de ar com menor frequência. Em termos práticos, há sempre uma mistura de diferentes tamanhos de redemoinhos, para que o transporte seja feito em frequências mais altas, e algumas nas mais baixas, cobrindo toda a gama de frequências, desde movimentos maiores, na ordem de horas, até pequenos, na ordem de 0,1s.

Se olharmos especificamente para o redemoinho em um único ponto da torre (Figura 17), em um momento (Tempo 1), o redemoinho 1 move a parcela de ar C_1 para baixo com a velocidade W_1 . No próximo momento (Tempo 2) no mesmo ponto, o redemoinho 2 move a parcela de ar C_2 para cima com velocidade W_2 . Cada parcela de ar possui suas próprias características, como concentração de gás, temperatura, umidade, etc. Se pudermos medir essas características, e a velocidade do movimento vertical do ar, conheceremos a vertical para cima, ou fluxos descendentes das concentrações de gases e vapores de água, temperatura e umidade.

Por exemplo, se em dado momento sabemos que três moléculas de CO_2 subiram, e no momento seguinte apenas duas moléculas de CO_2 desceram, então sabemos que o fluxo líquido durante esse período foi ascendente e igual a uma molécula de CO_2 . Este é o princípio geral da covariância de vórtices turbulentos (*eddy covariance*), covariância entre a concentração de interesse e velocidade do vento vertical.

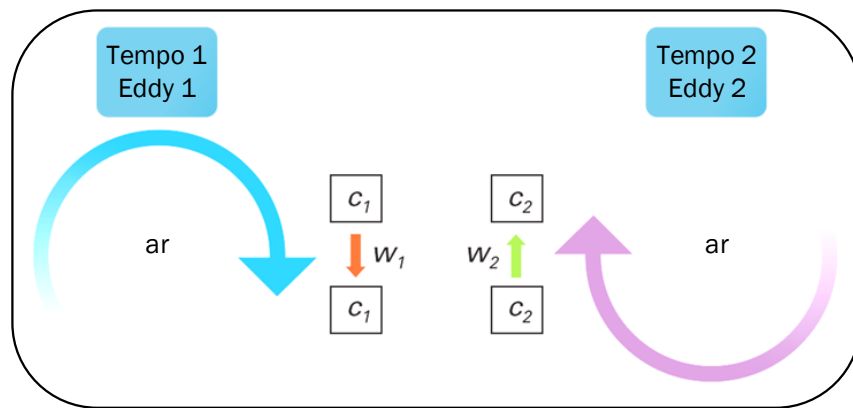


Figura 17: Redemoinho observado em um único ponto da torre.

Fonte: Adaptado de LI-COR BIOCIENCES (2013).

A Equação 4 descreve a conservação de quaisquer quantidades escalares ou vetoriais na atmosfera (DE ARRUDA, 2014):

$$\frac{\partial \rho_d \Psi}{\partial t} + \vec{\nabla}(\vec{u} \rho_d \Psi) + K_\Psi \Delta(\rho_d \Psi) = S_\Psi \quad (4)$$

Sendo que,

$\vec{u}$: velocidade vetorial do vento;

ρ_d : densidade do ar seco;

K_ψ : difusividade molecular da quantidade Ψ ;

S_ψ : grandeza da fonte.

É aplicada a um volume infinitesimal de ar no instante t , e indica que a taxa de variação da quantidade $(\rho_d \Psi)$ (primeiro termo) pode ser devido ao seu transporte atmosférico (segundo termo), a difusão molecular (terceiro termo) ou para sua produção pela emissão/absorção para dentro do volume infinitesimal (quarto termo). Esta equação é aplicável para quantidades escalares tanto quanto para quantidades vetoriais, desde que os termos fontes serem definidos adequadamente.

Substituindo Ψ da Equação 4, pela taxa de mistura de um componente atmosférico, denominado de χ_s , e desconsiderando o termo de difusão molecular, obtém-se a seguinte equação:

$$\frac{\partial \rho_d \chi_s}{\partial t} + \vec{\nabla}(\vec{u} \rho_d \chi_s) = S_s \quad (5)$$

Aplicando o primeiro passo da decomposição de Reynolds no intuito de trocar as variáveis aleatórias por valores médios mais flutuações,

$$\frac{\partial (\overline{\rho_d} + \rho_d')(\overline{\chi_s} + \chi_s')}{\partial t} + \vec{\nabla}[(\vec{u} + u')(\overline{\rho_d} + \rho_d')(\overline{\chi_s} + \chi_s')] = \overline{S_s} + S_s' \quad (6)$$

Tomando a média temporal, e levando em consideração as propriedades da mediação, e rearranjando os termos, obtém-se a mesma equação apresentada por Leuning (2005),

$$\overline{\rho_d} \frac{\partial \overline{\chi_s}}{\partial t} + (\overline{\vec{u} \rho_d}) \vec{\nabla} \overline{\chi_s} + \vec{\nabla} [\overline{\rho_d u' \chi_s'}] = \overline{S_s} \quad (7)$$

A Equação 7 revela que o termo fonte $\overline{S_s}$ é escrito como a soma da taxa de mudança da razão de mistura χ_s , advecção, ou seja, movimento horizontal de uma massa de ar, que causa alterações em temperatura ou em outras propriedades físicas do ar, devido ao gradiente espacial em χ_s , e à divergências nos fluxos turbulentos. Ao expandir a Equação 7 em termos de derivadas parciais e substituindo na Equação 4:

$$\overline{\rho_d} \frac{\partial \overline{\chi_s}}{\partial t} + \overline{\rho_d u} \frac{\partial \overline{\chi_s}}{\partial x} + \overline{\rho_d v} \frac{\partial \overline{\chi_s}}{\partial y} + \overline{\rho_d w} \frac{\partial \overline{\chi_s}}{\partial z} + \frac{\partial \overline{\rho_d u' \chi_s'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\rho_d v' \chi_s'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{\rho_d w' \chi_s'}}{\partial z} = \overline{S_s} \quad (8)$$

Escolhendo as coordenadas de modo adequado de tal forma que $\overline{v}$ e $\overline{w}$ sejam zeros, e novamente assumindo a homogeneidade horizontal (gradiente horizontal nulo) e condições de estado estacionário (derivada temporal nula), a equação se reduz a:

$$\frac{\partial \overline{\rho_d w' \chi_s'}}{\partial z} = \overline{S_s} \quad (9)$$

A Equação 9 diz que gradiente vertical de transferência turbulenta é igual, no elemento de volume, ao termo de fonte/sumidouro dos gases traços. Essas relações são utilizadas em um ecossistema para estimar fluxos das trocas das propriedades de interesse. Deve-se, portanto, integrar essas equações tanto horizontalmente (área de interesse) quanto verticalmente (do solo, à altura em que as medições estão sendo realizadas, em um volume de controle hipotético (terreno homogêneo) A (2L x 2L).

Integrando a Equação 8 e simplificando por diferentes hipóteses, conforme explica Finnigan (2003) a qual considera que o sistema de medida é colocado em uma camada horizontalmente homogênea em equilíbrio onde todos os gradientes horizontais são desprezados, e ainda as taxas de misturas e fluxos turbulentos medidos são considerados representativos de todo o volume. Assim, nestas condições, as integrações horizontais são desnecessárias, e um balanço de massa simplificado unidimensionalmente pode ser deduzido como,

$$F_s = \int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \frac{\partial \overline{\chi_s}}{\partial x} dz + \int_0^{h_m} \overline{\rho_d w} \frac{\partial \overline{\chi_s}}{\partial z} dz + \overline{\rho_d w' \chi_s'}|_{h_m} \quad (10)$$

O termo $\overline{w' \chi_s'}|_{h_m}$ representa o fluxo turbulento vertical no topo do volume de controle. F_s por sua vez, é a magnitude média da fonte/sumidouro no volume de controle, isto é, a troca líquida do ecossistema para a componente S. O segundo termo do lado direito representa o transporte por advecção no topo do volume de controle, o qual resulta da mudança com o tempo da densidade do ar seco na camada de ar inferior h_m . Aplicando a equação de conservação do ar seco, e simplificando, e rearranjando após integração por partes, chega-se à Equação 11:

$$F_s = \int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \frac{\partial \overline{\chi_s}}{\partial t} dz + \int_0^{h_m} (\overline{\chi_s}(z) - \overline{\chi_s}(h)) \frac{\partial \overline{\rho_d}}{\partial t} dz + \overline{\rho_d} \overline{w' \chi_s'}|_{h_m} \quad (11)$$

Em geral, o segundo termo do lado direito é frequentemente negligenciado, assim a equação pode ser reescrita de modo mais simplificado como,

$$F_s = \int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \frac{\partial \overline{\chi_s}}{\partial t} dz + \overline{\rho_d} \overline{w' \chi_s'}|_{h_m} \quad (12)$$

A Equação 12 é a base do método de vórtices turbulentos (*eddy covariance*) generalizado. Ela sugere que o fluxo de um escalar trocado por um ecossistema (F_s) pode ser estimado como a soma dos vórtices turbulentos verticais $\overline{w' \chi_s'}$ na altura h_m (F_s^{EC} , o quarto termo) e da mudança do armazenamento do escalar entre o solo e a altura de interesse (F_s^{STO} , o primeiro termo).

3. MÉTODOS

3.1. LOCAL DE ESTUDO 1: FAZENDA MIRANDA

A análise da primeira área de estudo foi realizada em torre micrometeorológica denominada de “Torre Miranda” (Figura 18) em área de Cerrado Mato-Grossense (Figura 19), na divisa da capital Cuiabá com o município de Santo Antônio de Leverger, na Fazenda Miranda (FM), nas coordenadas 15°43’53.88”S e 56°04’18.72”O, a 182 m. acima do nível do mar, e a 15 km do município de Cuiabá. O local de estudo está situado em uma faixa de transição entre o Cerrado e o Pantanal, e a vegetação é característica de Cerrado campo sujo. De acordo com Marcuzzo e Melo (2011) e Machado *et al.* (2016), o clima local é classificado segundo Köppen, como Aw, com temperatura média anual de 25°C e precipitação média anual de 1335 mm, com período chuvoso entre outubro e abril e período seco entre maio e setembro.

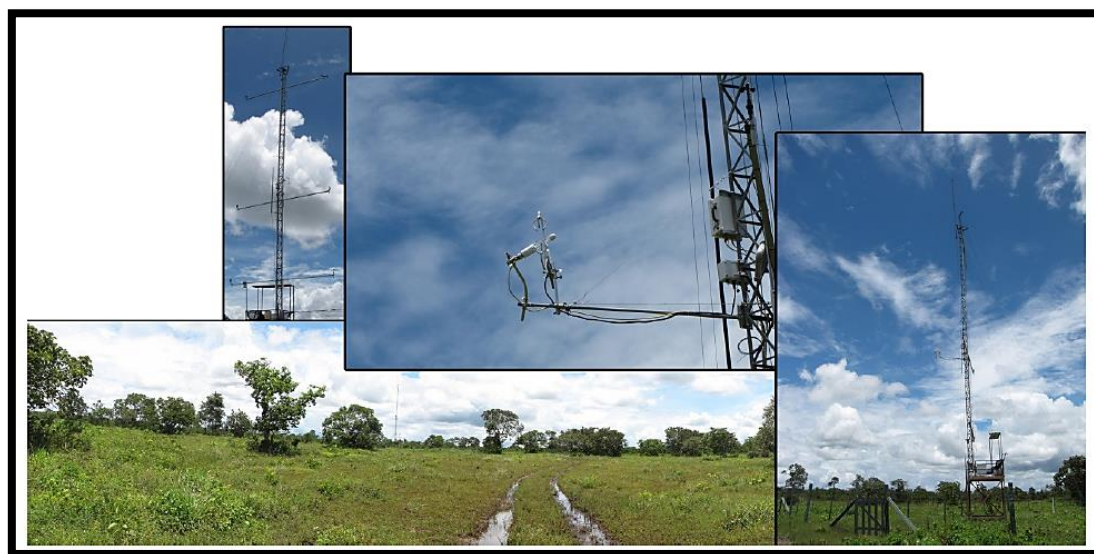


Figura 18: Torre instalada na Fazenda Miranda em Mato Grosso.
Fonte: DE ARRUDA (2014).

Radambrasil (1982) diz que o solo deste local de estudo é caracterizado por ser pouco espesso, imperfeitamente drenado, concrecionário e com superfície cascalhenta, Plintossolo pétrico, e em alguns locais pode haver a presença de solos Litólicos distróficos. A área é caracterizada pela dominância de gramíneas *Brachiaria*

humidicola sp. com fragmentos de arbustos. A área foi parcialmente desmatada no final da década de 1970. As gramíneas representam 64% (predominante), sendo que a vegetação também é composta de espécies de árvores como *Curatella americana* L. e *Diospyros hispida* A. DC, e o índice de área foliar é de aproximadamente 1,5 (VOURLITIS *et al.*, 2013).

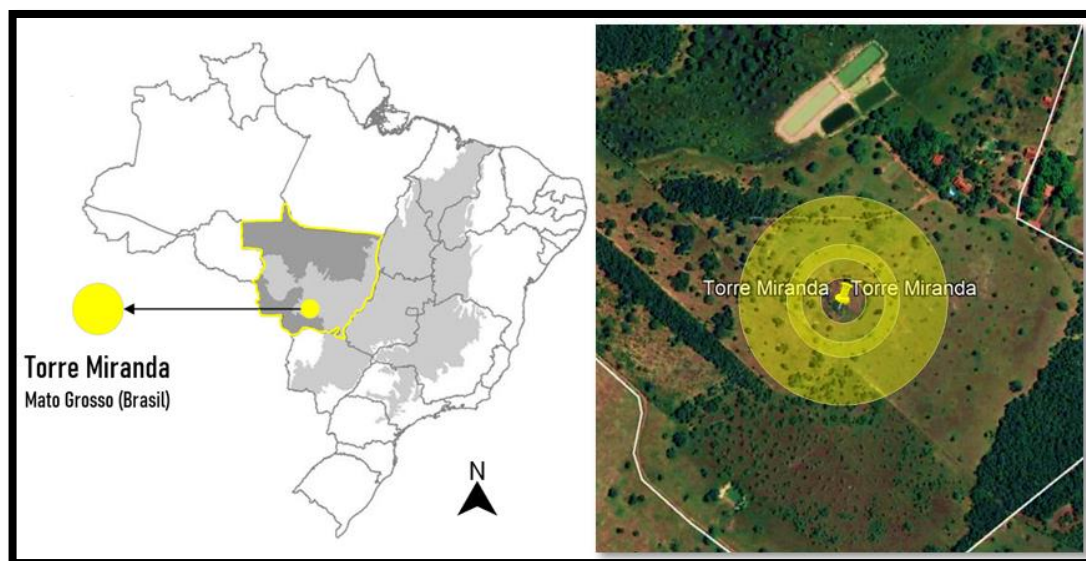


Figura 19: Localização da torre micrometeorológica “Torre Miranda” em Cerrado campo sujo no estado de Mato Grosso.

3.2 TORRE DA FAZENDA MIRANDA

Os dados foram coletados entre os anos 2011 e 2013. A torre instalada possui 20 m. de altura (Figura 18), e construída através do projeto “Implantação de Postos de Observação de Gases-Traço e de Aerossóis na Atmosfera em Mato Grosso” (MCT/CNPq/CT Infra CT Energ n. 07-2006), com sensores que permitem a coleta de dados contínuos durante todo o ano.

As variáveis micrometeorológicas foram registradas em um *datalogger* CR1000 da *Campbell Scientific*, com um intervalo de amostragem de 30 segundos e armazenamento das médias a cada 30 minutos. Para aumentar o número de canais de entrada do registrador foi utilizada uma placa multiplexadora AM16/32A, também da *Campbell Scientific*. A Tabela 1 mostra as medidas, instrumentos e respectivas alturas na torre.

Tabela 1: Medidas, instrumentos e respectivas alturas na torre instalada na Fazenda Miranda.

Função	Instrumentos	Altura (m)
Anemômetro sônico tridimensional	CSAT3 (<i>Campbell Scientific</i> , Logan, UT, USA)	10
Concentração de CO ₂	LI-7500A (LICOR Inc., Lincoln, NE, USA)	10
Concentração H ₂ O	LI-7500A (LICOR Inc., Lincoln, NE, USA)	10
Saldo de radiação (R_n)	NR LITE (Kipp e Zonen Delft, Inc., The Netherlands)	4
Radiação global incidente (R_{gi})	Piranômetros LI-200X-L (<i>Campbell Scientific</i> , Inc., USA)	4
Radiação global refletida (R_{gr})	Piranômetros - LI-200X-L (<i>Campbell Scientific</i> , Inc., USA)	4
Fluxo de calor no solo (G)	HFP01 (Hukseflux, Inc., The Netherlands)	0,01
Umidade (UR_{solo})	Reflectômetro - CS616 <i>Soil Moisture Sensor</i> (<i>Campbell Scientific</i> , Inc., USA)	0,20
Temperatura (T_{solo}) do solo	5 Termopares tipo “T”	0,01; 0,03; 0,05; 0,10; 0,20
Temperatura da superfície (T_{sup})	Radiômetro Infravermelho de Precisão - SI-111 (<i>Precision Infrared Radiometer</i> - <i>Campbell Scientific</i> , Inc., USA)	2
Temperatura do ar (T_{ar})	3 Termohigrômetros HMP 45AC (Vaisala, Inc., Helsinki, Finland)	5, 10, 18
Umidade relativa do ar (UR_{ar})	3 Termohigrômetros HMP 45AC (Vaisala, Inc., Helsinki, Finland)	5, 10, 18
Velocidade do vento (u)	2 Anemômetros de conchas- 03101-L <i>Wind Sentry Anemometer</i> (RM Young, Inc., USA)	5, 10
Direção do vento	03002-L <i>Wind Sentry Set</i> (RM Young, inc., USA)	18
Precipitação pluviométrica (ppt)	Pluviômetro de Báscula - TR-525M <i>Rainfall Sensor</i> (Texas Eletronics, Inc., USA)	5
Aquisição de dados	<i>Datalogger</i> - CR1000 (<i>Campbell Scientific</i> , Logan, UT, USA)	Abrigo
Energia – Tensão (12V)	Bateria de 150 A	Abrigo
Painel Solar (65 W)	SP65 (<i>Campbell Scientific</i> , Inc., Logan, UT, USA)	Abrigo

Fonte: Adaptado de DE ARRUDA (2014).

Os fluxos de CO_2 foram obtidos pelo sistema de covariância de vórtices turbulentos. Ressalta-se também que o Déficit de Pressão de Vapor (VPD) foi calculado/estimado pelo Eddy Covariance, sendo uma das saídas após o processamento dos dados. Os dados dos sensores são armazenados a 10 Hz, e posteriormente, as médias são calculadas e apresentadas em médias de 30 min.

3.3 LOCAL DE ESTUDO 2: BAÍA DAS PEDRAS

A análise da segunda área de estudo foi realizada em torre micrometeorológica denominada de “Torre Baía das Pedras” (Figura 20) em área de Pantanal Mato-Grossense (Figura 21), dentro da reserva administrada pelo Serviço Social do Comércio do Brasil (SESC Pantanal), nas coordenadas $16^{\circ}29'53.41''S$ e $56^{\circ}24'46.04''O$, a 123 m. acima do nível do mar. A Torre faz parte de uma estação de pesquisa gerenciada pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) em parceria com SESC Pantanal. Há períodos de inundação sazonais, sendo que os períodos chuvosos vão de novembro a abril, e períodos secos de maio a outubro (DALMAGRO, 2019).



Figura 20: “Torre Baía das Pedras” instalada no SESC Pantanal (Parque Baía das Pedras).

De acordo com Girard (2010), as inundações ocorrem devido a chuvas locais e

também pelo transbordamento do rio Cuiabá, localizado a cerca de 2 km da torre de estudo. Prado (2015) relata que a vegetação do local é típica de florestas sucessionais, com área foliar média de $7,4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e altura média de 6 m. dominada por *lanceolatum* Combretaceae. Essa espécie em específico é comum nas margens dos rios do Pantanal, conforme observa Santos (2006). Em áreas mais abertas e possível encontrar plantas semi-aquáticas, como a *Thalia geniculata* e *Nymphaea* sp. (POTT e POTT, 1994).

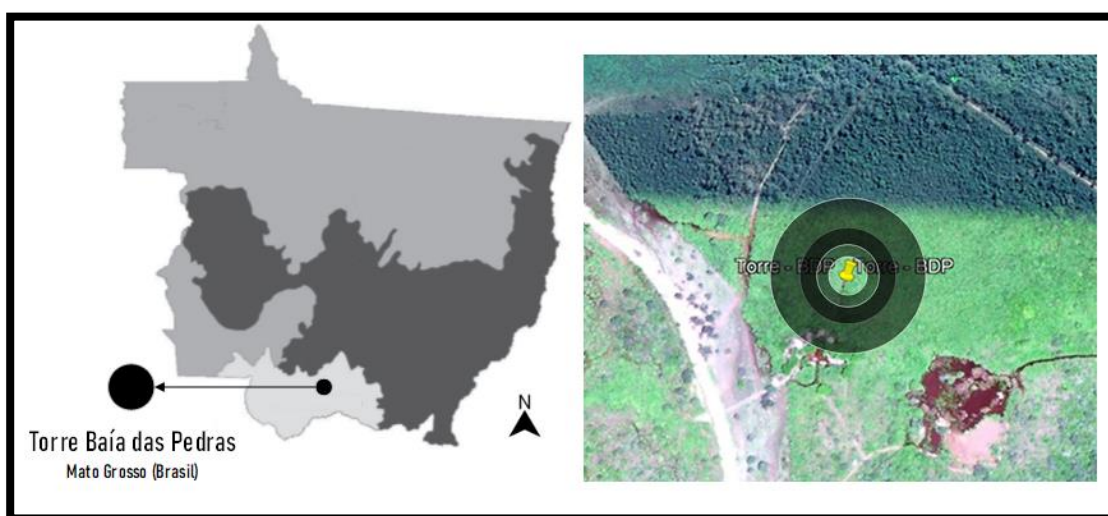


Figura 21: Localização da torre micrometeorológica “Torre Baía das Pedras” em Pantanal Mato-Grossense.

Dalmagro (2019) relata que as inundações no local da pesquisa geralmente ocorrem entre dezembro e junho, com uma profundidade máxima de inundação menor do que 1 m. No início do período de cheia, as águas são turvas por conta de sedimentos em suspensão, meses depois é possível observar transparência na água, logo após muda novamente a coloração para um marrom escuro. Dalmagro (2018) também informa que a média de oxigênio dissolvido O_2 e $ORP(Eh)$ da coluna de água ficaram entre 1,3 e 1,4 mg/L e 466 a 630 mV. A concentração média de carbono orgânico dissolvido em água (DOC) apresentou concentração média de 7,0 mg/L, composta principalmente de ácidos húmicos e fúlvicos.

A média anual da temperatura local é de $24,9^\circ$ para o período de 2012 a 2017, com máximas diárias de $31,1^\circ\text{C}$, observada em setembro de 2015, e mínimos diários de $11,3^\circ\text{C}$, observado no mês de julho de 2013. A precipitação média foi de 1.486 mm por ano, com queda maior que 80% na estação chuvosa (DALMAGRO, 2019).

De acordo com Couto (2002) o tipo de solo na região é classificado como Dystric Gleysol e segundo Vourlitis, Dalmagro *et al.* (2015) e Vourlitis, Lobo *et al.* (2015) o solo possui concentração média de 429 g/kg de areia, 254 g/kg de lodo e 317 g/kg de argila. A média de matéria orgânica do solo (MOS, 0-0,10 m. de profundidade) é de 17 g/kg, sendo que o pH do solo é de 4,7.

3.4 TORRE DA BAÍA DAS PEDRAS

Os dados foram coletados entre os anos 2014 e 2016. A torre instalada possui 20 m. de altura (Figura 20), 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) (BARBOSA DE OLIVEIRA, 2018).

A temperatura e a umidade do ar foram medidas 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 e as bombas estão na plataforma de 16m² junto ao sistema de *Eddy covariance* (Anemômetro sônico tridimensional CSAT3 - *Campbell Scientific*, Logan, UT, USA; LI-7500A - LICOR Inc., Lincoln, NE, USA) as baterias e o sistema de internet (BARBOSA DE OLIVEIRA, 2018).

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).

3.5 PREENCHIMENTO DE FALHAS

As condições do local, bem como manutenções nos equipamentos instalados nas torres micrometeorológicas, influenciam diretamente na quantidade de dados de qualidade obtidos. É importante salientar que todo sensor ou equipamento é passível de falhas, e em alguns casos são necessários a rejeição de dados ou preenchimento dos mesmos.

O preenchimento de falhas nos dados do eddy covariance é realizado através de algoritmo proposto pelo grupo de Biogeoquímica do Instituto Max Plack e é baseado em métodos propostos por Falge *et al.* (2001), considerando tanto a covariação dos fluxos com as variáveis meteorológicas, quanto a auto-correlação temporal dos fluxos, descrito por Reichstein *et al.* (2005).

Na situação em que apenas a variável de interesse está falhada, tendo todos os dados meteorológicos disponíveis, os valores são preenchidos com a média dos valores da mesma variável em condições meteorológicas similares, observando janela temporal de sete (7) dias, ou caso não seja possível, a janela é aumentada para catorze (14) dias.

No caso em que além da variável de interesse, também a temperatura do ar e DPV estão falhados, mas a radiação é disponível, o mesmo método é utilizado, no entanto com novos limites estabelecidos para radiação global.

Em um terceiro momento, além dos casos citados acima, a radiação também está falhada, os valores faltantes são preenchidos pela média dos valores no mesmo período do dia (1 hora), utilizando-se o ciclo diurno médio. Neste caso, a janela temporal se inicia com (0,5) dia, sendo similar a uma interpolação linear entre os dados disponíveis e os horários adjacentes. Se após estas etapas o valor não puder ser preenchido, o processo é repetido aumentando a janela de tempo até que os dados possam ser preenchidos. Tanto o método, a janela temporal, o número preenchido e o desvio padrão são gravados, então é possível avaliar quais dados pode-se realmente utilizar, e as incertezas podem ser estimadas para cada preenchimento. As incertezas

são também calculadas para cada série de dados aplicando-se uma falha similar a um conjunto de dados existentes, e então aplicado o mesmo método de preenchimento de falhas e comparando o resultado (DE ARRUDA, 2014).

3.6 MÉTODOS DE ABORDAGEM E PROCEDIMENTO

De acordo com Lakatos e Marconi (2017), em relação ao método de abordagem, utilizou-se no presente trabalho o método hipotético-dedutivo, iniciando-se pela percepção de uma lacuna no conhecimento, formulando hipóteses a respeito, para depois realizar inferência dedutiva. Em relação ao método de procedimento, foram utilizados os métodos estatístico e comparativo. No procedimento estatístico, permite-se obter a partir de conjuntos complexos, representações simplificadas, no intuito de estabelecer relações entre as variáveis analisadas, já no procedimento comparativo, analisa-se dados concretos, deduzindo deles elementos constantes, abstratos e gerais.

3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS E SOFTWARES UTILIZADOS

Os gráficos gerados neste trabalho, bem como as análises estatísticas foram realizadas através do *software* Matlab 2021, via programação em linguagem “C”. No intuito de comparar os ecossistemas, e encontrar maior participação/influência entre as variáveis, de acordo com os objetivos do trabalho, utilizou-se análise por regressão múltipla, empregando um intervalo de confiança padrão de 95%. Também foi realizada normalização dos dados, utilizando o método *Min-Max*, tendo em vista a comparação de horizontes de anos distintos entre os ecossistemas. A escolha do método *Min-Max* em detrimento a outras formas de normalização se deve ao fato dos valores máximos e mínimos reais já serem conhecidos nas séries de dados analisadas, além de não haver outliers dominantes nas séries (HAN, 2011). Aprofundando a análise, também foi calculado amostras bootstrap (paramétrico) para a média (μ), com 2000 reamostras e IC também de 95%, para o calor latente (LE), calor sensível (H), fluxo de calor no solo (G) e para o próprio saldo de radiação (Rn).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 22, 23, 24 e 25 exibem os dados coletados no Pantanal (Baía das Pedras) entre os anos de 2014 à 2016. Os valores apresentados são médias (μ) de 15 dias de dados, em um horizonte de 3 anos analisados. Vale destacar que o período de todos os gráficos em que não há continuidade, significa que não houveram dados/medições nestes meses, ou ainda, devido a erros de leitura, dados excluídos por baixa qualidade no pós processamento dos dados, manutenção, ou mesmo equipamentos realocados provisoriamente para outra estação de estudo. Tem-se por volta de 50.000 dados de leitura no período estudado no Pantanal, dados suficientes para se ter uma análise estatística relevante.

Na Figura 22A, as maiores médias de umidade relativa do ar foram observadas no período de chuva, sendo que o maior valor foi de 89,55% (fevereiro de 2014), e o menor valor observado foi de 69,25% (agosto de 2015). Na Figura 22B, as maiores médias de temperaturas do ar, também são relativas ao período chuvoso, sendo que o maior valor observado foi de 28,10°C (abril de 2016) e o menor de 18,85°C (julho de 2016). Tanto as maiores médias de umidade relativa do ar no período chuvoso, quanto as maiores médias de temperaturas do ar no mesmo período, foram relatados também por Duarte L. G. *et al.* (2018), na mesma estação de estudo, porém analisando os anos 2011, 2012, e 2013, e também por Souza *et al.* (2013) em 13 estações meteorológicas em Mato Grosso.

Na Figura 22C, o maior valor observado de Precipitação, foi de 232,91 mm (fevereiro de 2014). Em relação a precipitação mensal acumulada, Figura 22D, o valor final acumulado, de todo período, foi de 3.867,36 mm.

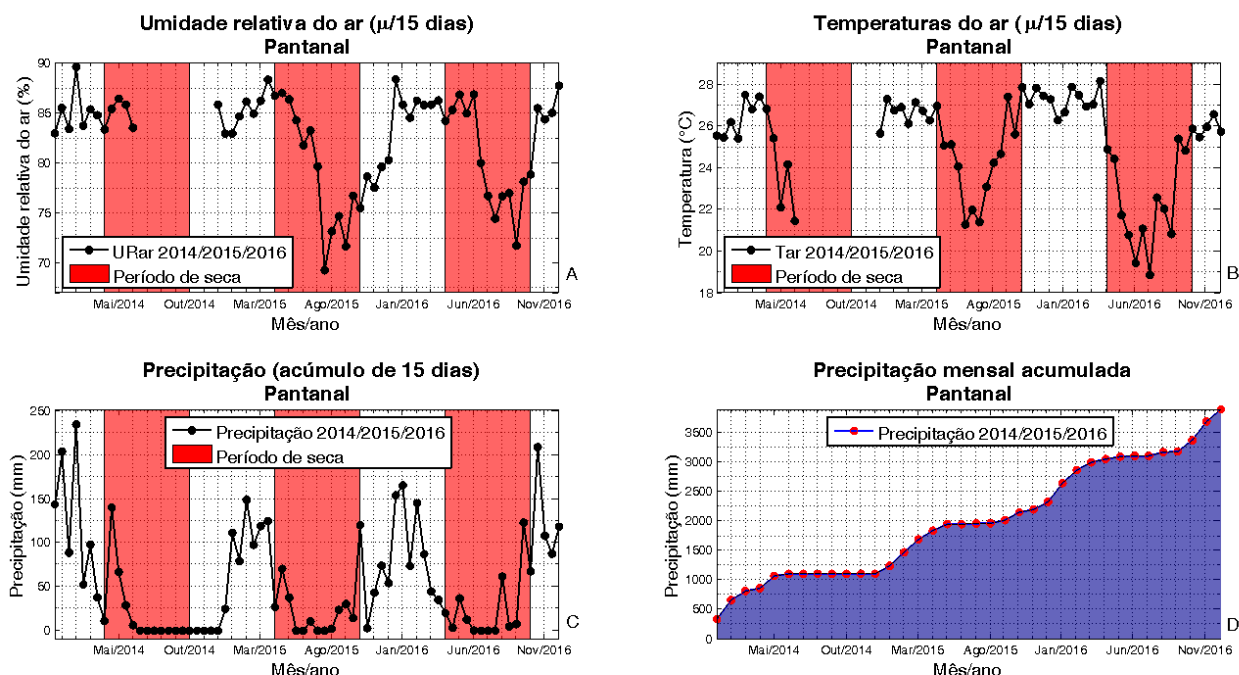


Figura 22: Medições obtidas no Pantanal. (A) Umidade relativa do ar (%), (B) Temperaturas do ar ($^{\circ}\text{C}$), (C) Precipitação quinzenal (mm) e (D) Precipitação mensal acumulada (mm). Cada ponto nas figuras (A) e (B) representam uma média (μ) de 15 dias. Cada ponto na figura (C) representa um somatório de precipitação de 15 em 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema, e a parte sombreada em azul na (D) representa um acúmulo mensal de precipitação (somatório mensal + somatório do período anterior).

Na Figura 23A, pode-se observar maiores valores de oxigênio no solo no final do período de seca e início do período de chuva, sendo que o maior valor observado de O_2 no solo foi de 17,55% (outubro de 2014). Na Figura 23B, maiores valores de temperatura do solo são observados durante o período de chuva, sendo que o maior valor medido, neste caso, foi de 29,14 $^{\circ}\text{C}$ (dezembro de 2015), e o menor de 21,16 $^{\circ}\text{C}$ (julho de 2016). Em relação a umidade do solo, Figura 23C, o maior valor observado foi de 51,73% (maio de 2016), já o menor, de 26,35% (novembro de 2015). As maiores médias de umidade do solo, neste caso, concentram-se praticamente da metade do período chuvoso até metade do período de seca.

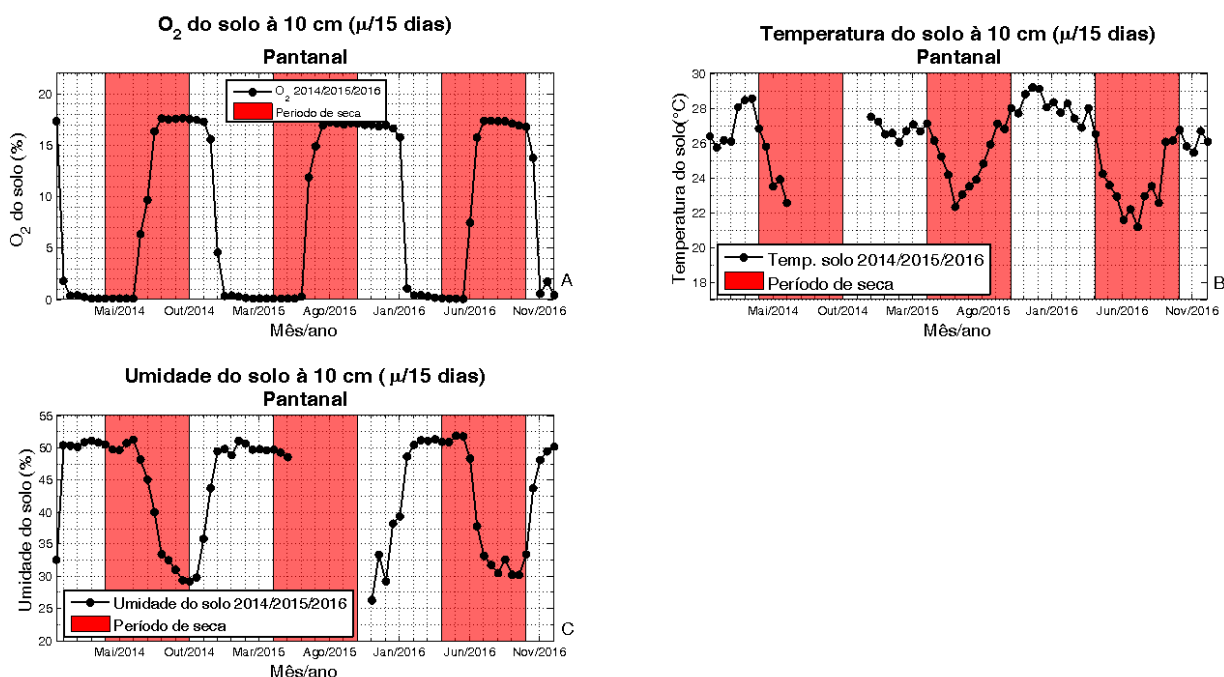


Figura 23: Medições obtidas no Pantanal. (A) O₂ do solo à 10 cm de profundidade (%), (B) Temperatura do solo à 10 cm de profundidade (°C) e (C) Umidade do solo à 10 cm de profundidade (%). Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema.

Analisando a Figura 24A, nota-se que as maiores médias de NEE concentram-se no período de seca. No entanto, o maior valor de NEE foi de $+3,80 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, em dezembro de 2014, e o menor foi de $-3,31 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, em fevereiro de 2015. Em relação a produtividade primária bruta (GPP), Figura 24B, as maiores médias concentram-se no período chuvoso, sendo o maior valor aferido foi de $8,10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (março de 2016), e o menor valor de $-0,26 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (dezembro de 2014).

Durante o período de chuva no Pantanal observou-se também menores variações de temperaturas do ar, umidade relativa do ar e temperaturas do solo (Figuras 22A, 22B e 23B). Em relação a O₂ do solo e umidade do solo (Figuras 23A e 23C), houve menores variações, no entanto da metade do período de seca até a metade do período de chuva. Em relação a troca líquida de CO₂ no ecossistema (Figura 24A), as menores variações ocorrem no período de seca. A produtividade primária bruta (Figura 24B), por sua vez, apresenta maiores variações tanto no período de seca, quanto no período de chuva, apresentando, no entanto, menores valores nos períodos de seca.

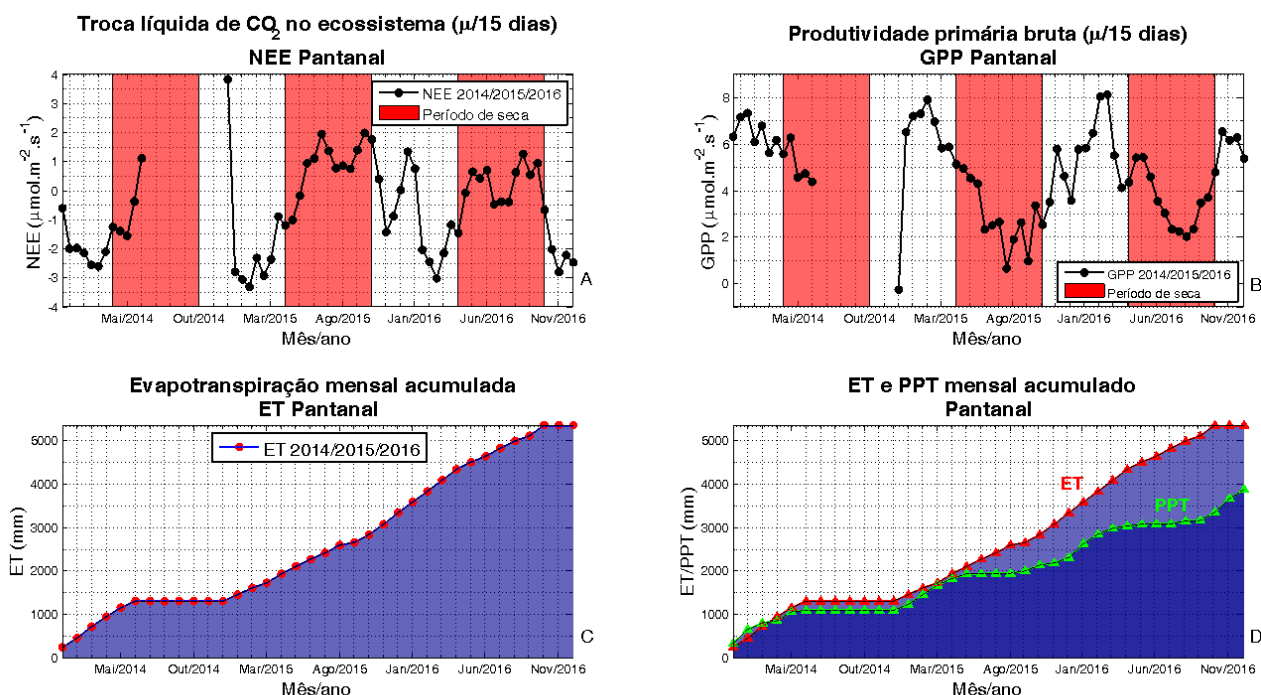


Figura 24: Medições obtidas no Pantanal. (A) Troca líquida de CO_2 (NEE em $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), (B) Produtividade primária bruta (GPP em $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$), (C) Evapotranspiração mensal acumulada (ET em mm.) e (D) Evapotranspiração e precipitação mensal acumulada (ET e PPT em mm.). Cada ponto nas figuras (A) e (B) representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. Cada ponto nas figuras (C) e (D) representam um acúmulo mensal da variável medida (somatório mensal + somatório do período anterior).

A Evapotranspiração mensal acumulada, Figura 24C, ao valor final de todo período, foi de 5.340,09 mm. Nas Figuras 24D e 25, é possível observar que a evapotranspiração é maior do que a precipitação, durante quase todo o período de análise. A precipitação acumulada ao final de todo horizonte de análise foi de 3867,36 mm. A ET neste caso, é 27,58% superior a PPT.

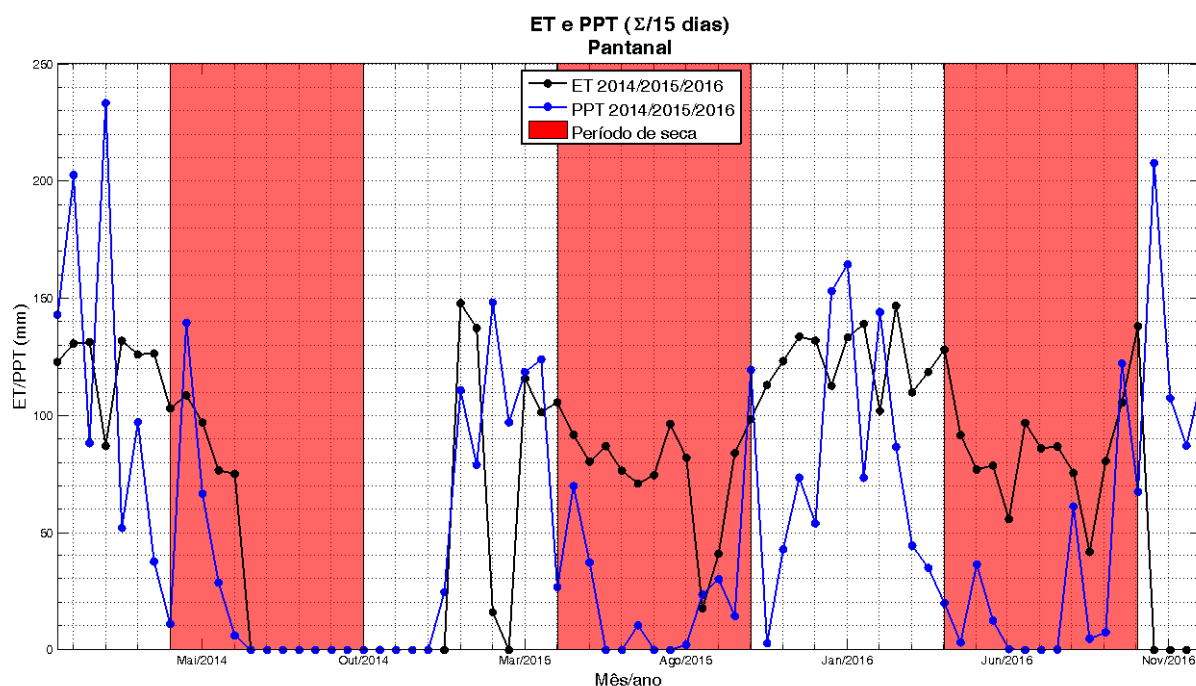


Figura 25: Medições obtidas no Pantanal. Evapotranspiração e precipitação quinzenal acumulada (ET e PPT em mm.). As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema.

As Figuras 26, 27, 28 e 29 exibem os dados coletados no Cerrado (Fazenda Miranda), entre os anos de 2011 à 2013. Os valores apresentados são médias (μ) de 15 dias de dados, em um horizonte de 3 anos analisados. Tem-se também por volta de 50.000 dados de leitura no período estudado no Cerrado.

Na Figura 26A as maiores médias de umidade relativa do ar foram observadas nos períodos de chuva, em março e abril de 2013, sendo que o maior valor observado foi de 85,84%. A menor média foi de 33,31%, em setembro de 2012, período de seca. As temperaturas do ar, Figura 26B, no geral, foram maiores no período de chuva. O maior valor observado foi de 30,84°C (setembro de 2012), já a menor foi de 22,55°C (julho de 2013).

Na Figura 26C, o maior valor observado de Precipitação, foi de 306,90 mm (março de 2013). Em relação a precipitação mensal acumulada, Figura 26D, o valor final, de todo período, foi de 2.716,10 mm.

A Figura 27A, em relação à temperatura do solo, observou-se médias de temperaturas maiores na metade inicial de cada período chuvoso, tendo queda na temperatura do solo na metade final do período chuvoso até a metade de cada período de seca. A maior média de temperatura de solo observada foi de 35,38°C (novembro

de 2011), já a menor foi de 25,99°C. Como é de se esperar, umidades mais altas do solo também são observadas nos períodos de chuva, conforme Figura 27B, sendo que o pico de umidade foi de 6,79% (março de 2011) e o mínimo observado foi de 2,06% (agosto de 2013).

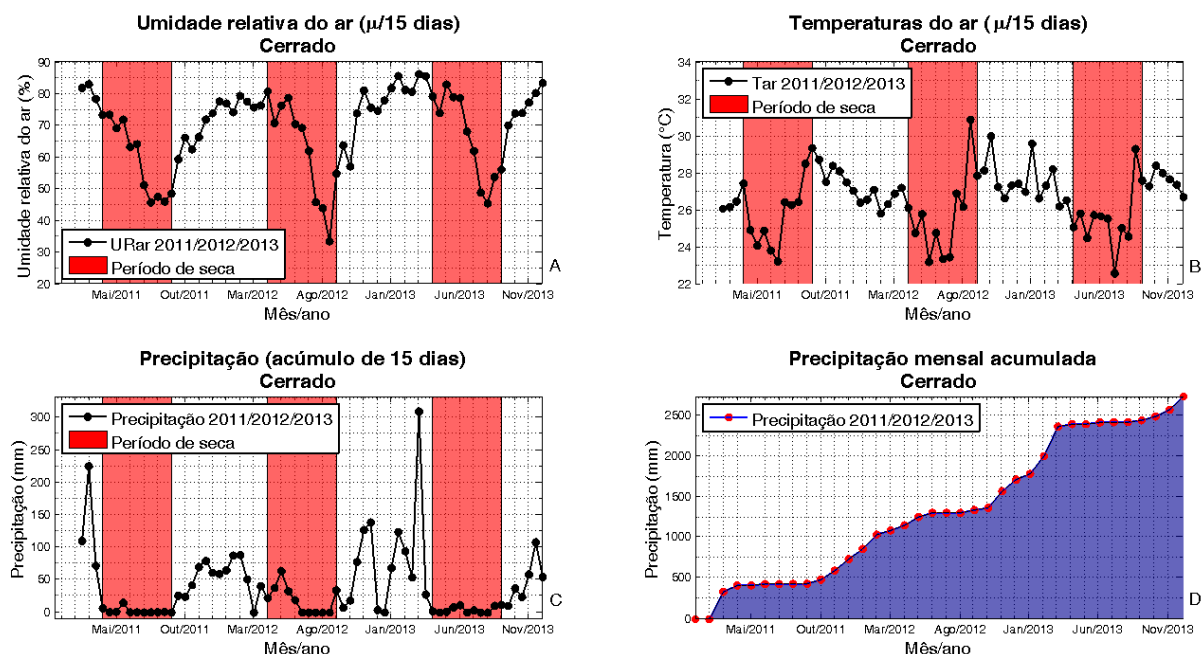


Figura 26: Medições obtidas no Cerrado. (A) Umidade relativa do ar (%), (B) Temperaturas do ar (°C), (C) Precipitação quinzenal (mm) e (D) Precipitação mensal acumulada (mm). Cada ponto nas figuras (A) e (B) representam uma média (μ) de 15 dias. Cada ponto na figura (C) representa um somatório de precipitação de 15 em 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema, e a parte sombreada em azul na (D) representa um acúmulo mensal de precipitação (somatório mensal + somatório do período anterior).

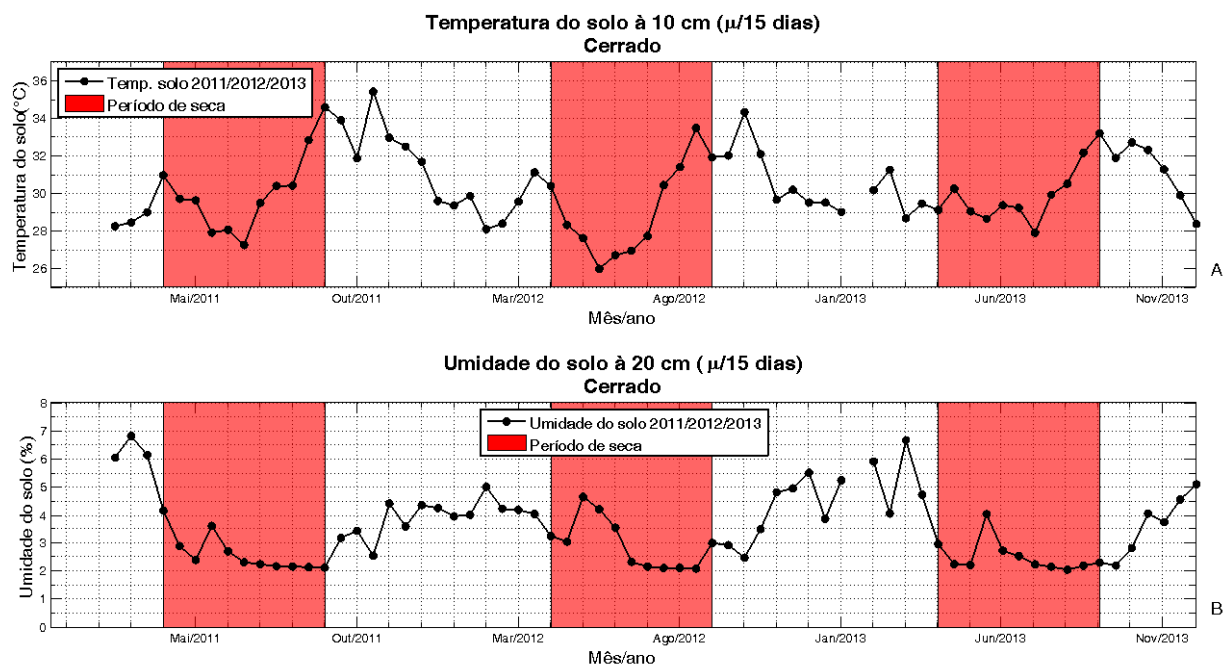


Figura 27: Medições obtidas no Cerrado. (A) Temperatura do solo à 10 cm de profundidade ($^{\circ}\text{C}$) e (B) Umidade do solo à 20 cm de profundidade (%). Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema.

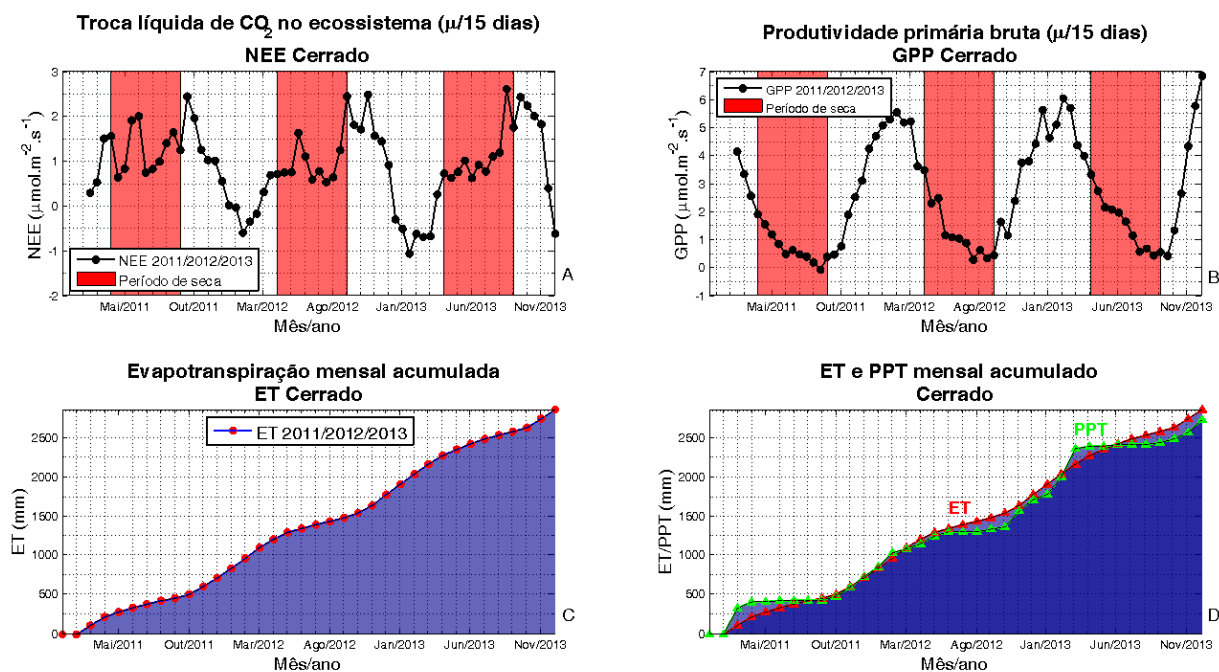


Figura 28: Medições obtidas no Cerrado. (A) Troca líquida de CO_2 (NEE em $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), (B) Produtividade primária bruta (GPP em $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), (C) Evapotranspiração mensal acumulada (ET em mm.) e (D) Evapotranspiração e precipitação mensal acumulada (ET e PPT em mm.). Cada ponto nas figuras (A) e (B) representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema. Cada ponto nas figuras (C) e (D) representam um acúmulo mensal da variável medida (somatório mensal + somatório do período anterior).

Analisando a Figura 28A, é possível notar que as médias de NEE são maiores durante o período de seca. No entanto, o maior valor de NEE foi de $+2,59 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, em setembro de 2013, e o menor foi de $-1,07 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, em fevereiro de 2013. Em relação a produtividade primária bruta (GPP), Figura 28B, as maiores médias observadas foi no período de chuva, sendo que o maior valor encontrado foi de $6,81 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, e o menor valor de $-0,08 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

A Evapotranspiração mensal acumulada, Figura 28C, ao valor final de todo período, foi de 2843,93 mm. Nas Figuras 28 (D) e 29, é possível observar que a evapotranspiração é muito próxima da precipitação, durante quase todo o período de análise, com alguns poucos picos, isolados, podendo ser comprovado também pelo valor acumulado da PPT, que ao final de todo o período foi de 2.716,10 mm, bem próximo ao de ET (4,5% maior do que o PPT).

No Cerrado, durante o período de chuva, semelhantemente ao visto no Pantanal, observou-se menores variações de temperaturas do ar e umidade relativa do ar (Figuras 26A e 26B). No entanto houve maiores variabilidades de temperaturas do solo em todo horizonte de tempo analisado, sendo uma tendência de aumento dessa temperatura do início ao fim de cada período de seca, e diminuição dessa temperatura do início ao fim do período de chuva (Figura 27A). Em relação a umidade do solo, as menores variabilidades ocorrem no período de seca (Figura 27B). Semelhantemente ao comportamento das variáveis NEE e GPP relatados no Pantanal, no Cerrado também há menores variações no período de seca para o NEE e maiores variações tanto no período de seca, quanto no período de chuva para o GPP, apresentando, no entanto, menores valores nos períodos de seca para produtividade primária bruta (Figuras 28A e 28B).

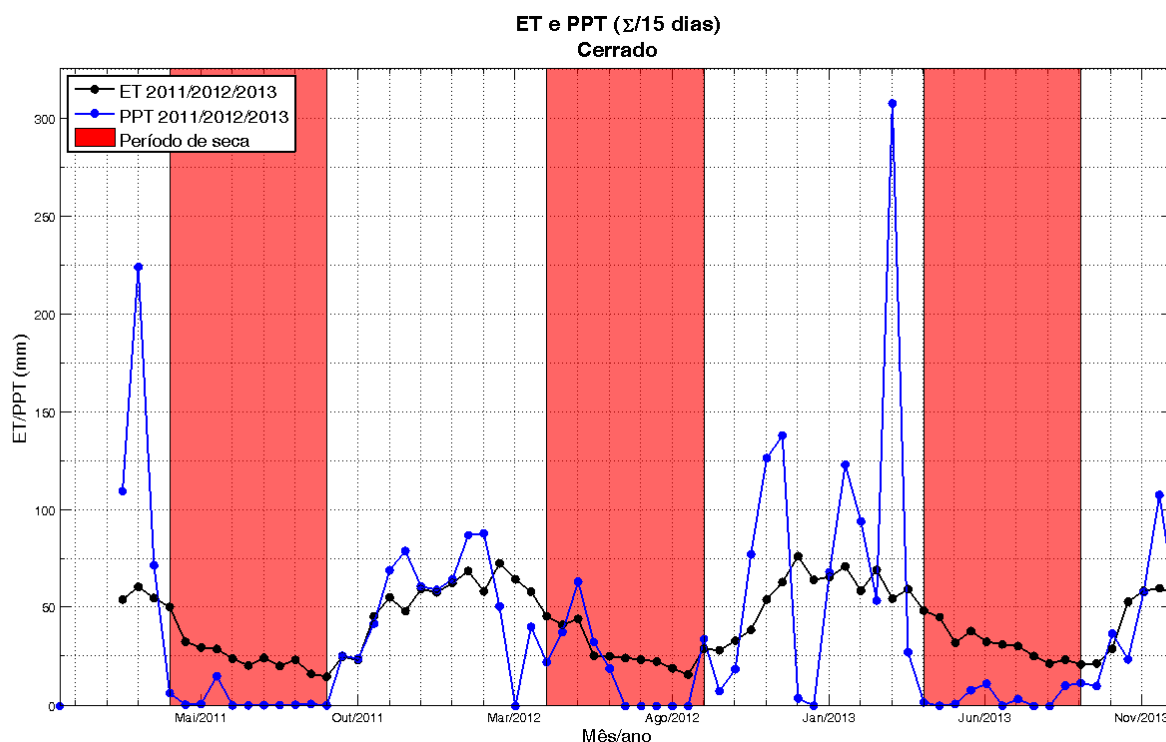


Figura 29: Medições obtidas no Cerrado. Evapotranspiração e precipitação quinzenal acumulada (ET e PPT em mm.). As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema.

As Figuras 30, 31 e 32 exibem os dados coletados nos dois ecossistemas, Pantanal e Cerrado. No intuito de se realizar comparações entre as variáveis, foi necessário normalizar os dados através do método *Min-Max*, tendo em vista a comparação de horizontes de anos distintos entre os ecossistemas. Conforme Figura 30A, a umidade relativa do ar foi maior no ecossistema Pantanal, quando comparado ao Cerrado. E no Cerrado, especialmente nos períodos finais de seca, observou-se umidades bem baixas, por volta de 0.3 e 0.4.

Em relação a Figura 30B, observa-se que as temperaturas do ar são maiores no Cerrado, especialmente em agosto do segundo ano. Em janeiro do terceiro ano, observou-se também temperaturas equivalentes entre os dois ecossistemas, em período de chuva. Já em relação à precipitação, Figura 30C, a PPT é maior no Pantanal. Os maiores picos de precipitação no Pantanal foram observados entre os meses de janeiro e fevereiro do primeiro ano.

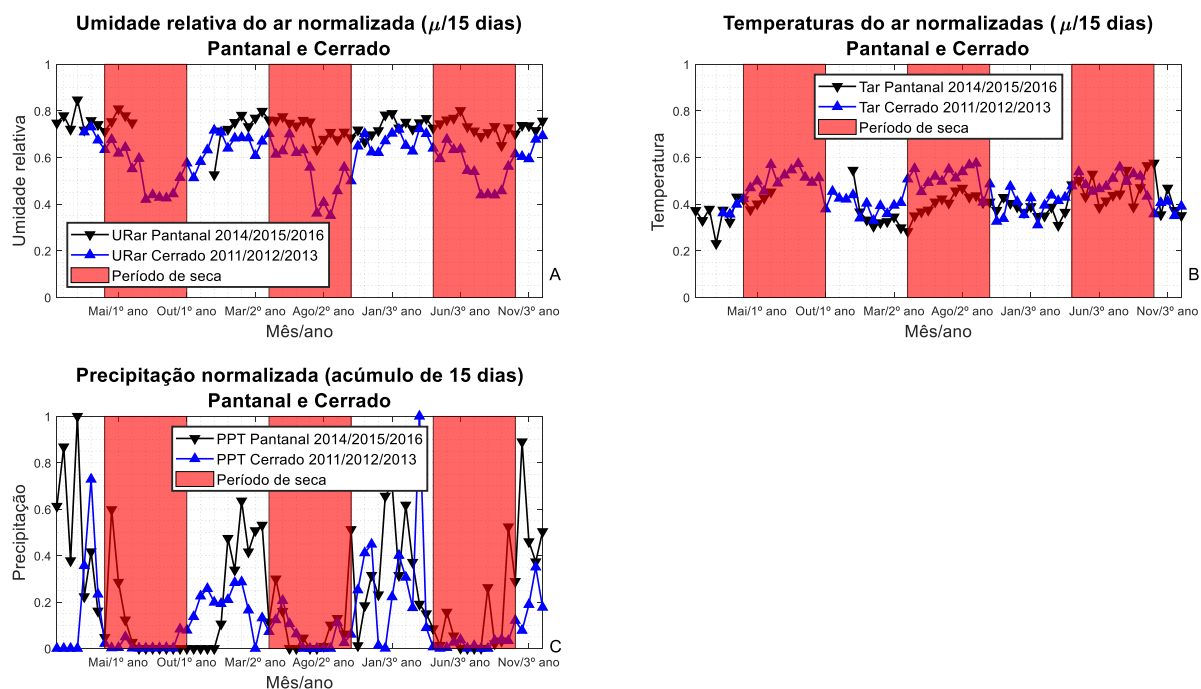


Figura 30: Medições obtidas no Pantanal e Cerrado, com dados normalizados. (A) Umidade relativa do ar, (B) Temperaturas do ar, e (C) Precipitação quinzenal. Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca nos ecossistemas.

Em relação a Figura 31A, tem-se o nível de oxigênio do solo do Pantanal. É importante frisar que não estão disponíveis os dados dos níveis de oxigênio do solo para o Cerrado, para que pudesse ser comparado com os do Pantanal. No entanto, realizou-se a normalização dessa variável para o Pantanal. Sendo assim, para esse ecossistema, o O_2 do solo apresentou tendência de ser maior em período de chuva, ao mesmo tempo em que teve maiores picos neste período.

A Figura 31B mostra que no geral, as médias de temperaturas do solo, no ecossistema Pantanal, foram maiores em boa parte do tempo. A Figura 31C, por sua vez, mostra maiores médias de umidades do solo, no ecossistema Pantanal, se comparado ao Cerrado, especialmente em períodos de seca.

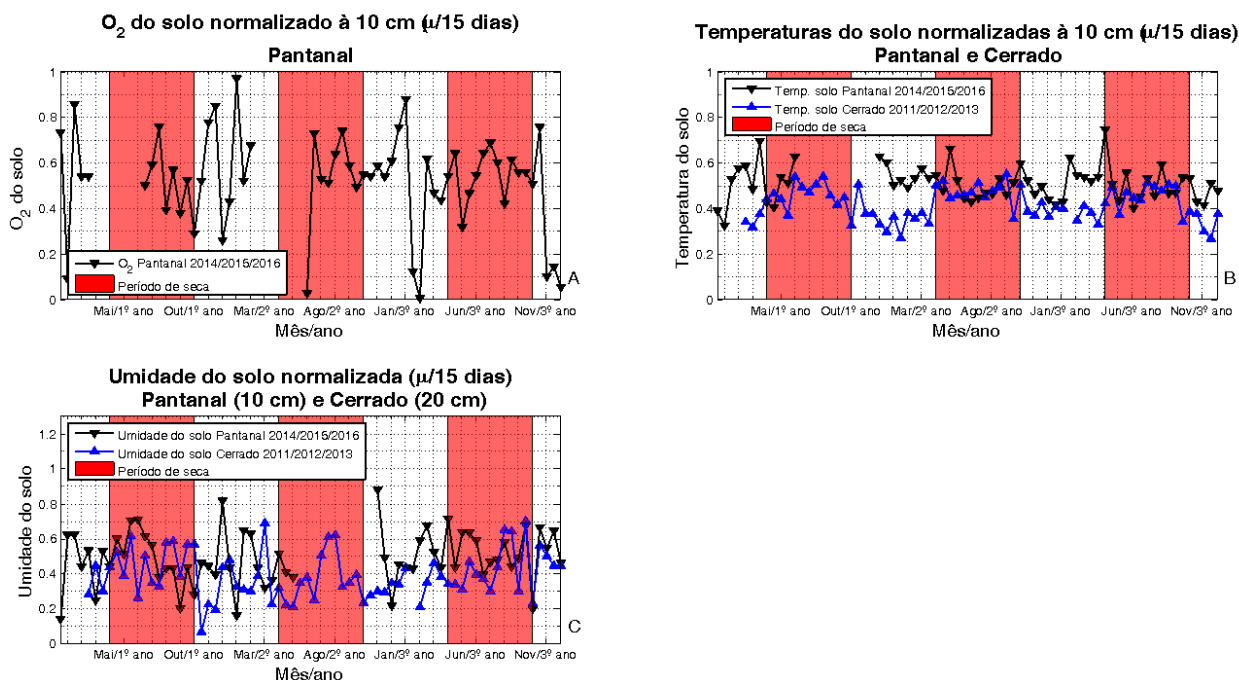


Figura 31: Medições obtidas no Pantanal e Cerrado, com dados normalizados. (A) O_2 do solo apenas no Pantanal, à 10 cm de profundidade (não há dados de comparação com o Cerrado, para esta variável), (B) Temperatura do solo à 10 cm de profundidade e (C) Umidade do solo à 10 cm de profundidade no Pantanal, e 20 cm de profundidade no Cerrado. Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos de seca no ecossistema.

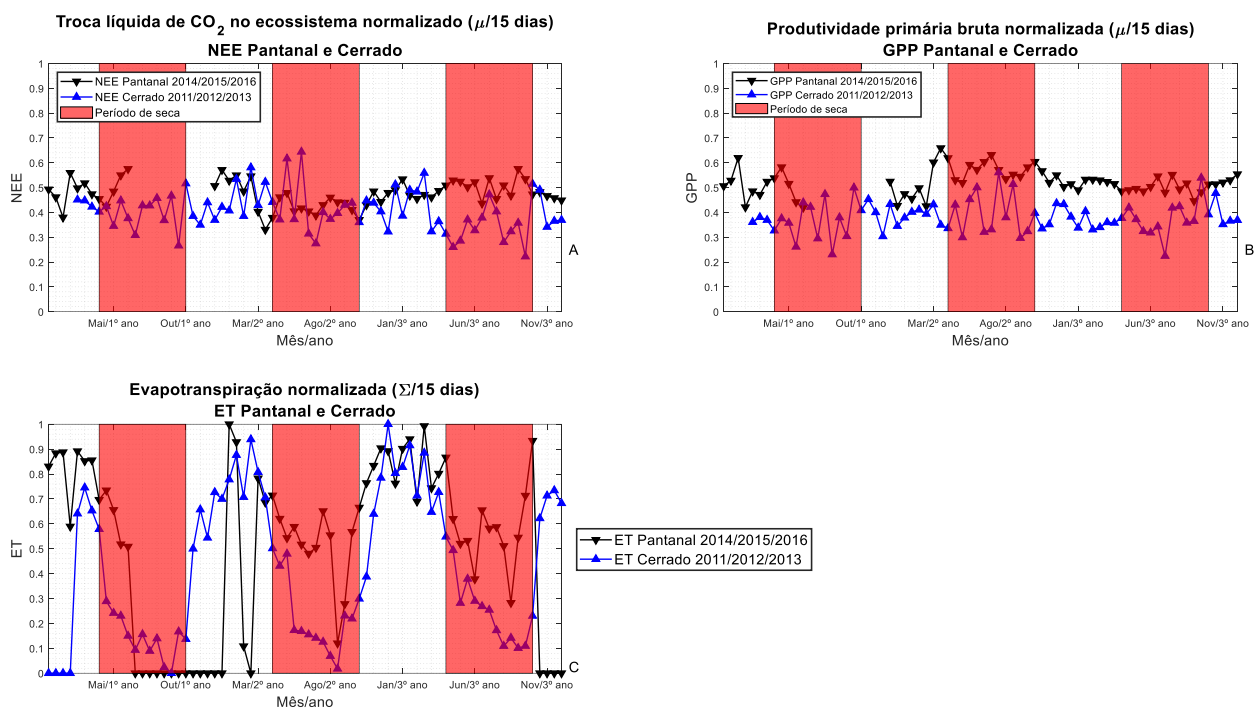


Figura 32: Medições obtidas no Pantanal e Cerrado, com dados normalizados. (A) Troca líquida de CO_2 (NEE), (B) Produtividade primária bruta (GPP), e (C) Evapotranspiração (ET). Cada ponto nas figuras representam uma média (μ) de 15 dias. As partes sombreadas em vermelho destacam períodos

de seca no ecossistema.

Na Figura 32A, é possível observar maiores médias de trocas líquidas de CO_2 no Pantanal. Nos meses de maio e junho do 2º ano teve-se picos maiores de NEE no Cerrado, e nos meses de abril à outubro do 3º ano, teve-se picos bem menores do que os observados no Pantanal. A Figura 32B mostra que também, no geral, as médias de GPP foram maiores no Pantanal. A Figura 32C demonstra que a evapotranspiração no ecossistema Pantanal é maior do que as observadas no Cerrado, isso durante praticamente todo o horizonte de tempo analisado.

Convencionou-se neste trabalho adotar os termos “vs tudo”, vs “variáveis de interesse”, além das “variáveis de base”, de comparação. As variáveis de base são NEE, GPP e ET, e todas as outras variáveis, ou seja, Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD são comparadas às variáveis de base. As variáveis de interesse são selecionadas dentre as variáveis “vs tudo” Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, de acordo com o IC de 95%.

A Tabela 2 apresenta dados da raiz quadrada do erro médio (RMSE), R^2 e R^2 ajustado, obtidos através de análise de regressão múltipla dos ecossistemas Pantanal e Cerrado. O intuito é descobrir qual/quais das variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, mais influenciam as variáveis consideradas de base neste trabalho, a saber: NEE, GPP e ET. A Figura 33 complementa a Tabela 2 e mostra as variáveis que mais influenciam as variáveis de base, considerando um $p \leq 0,05$.

Analisando a Tabela 2 é possível observar o R^2 Ajustado do Pantanal levando consideração NEE vs variáveis de interesse, é 63,86% (0,180 para 0,498) superior quando comparado ao R^2 Ajustado do Cerrado. Em relação ao GPP vs variáveis de interesse, o contrário acontece, por pouco, o R^2 Ajustado do Cerrado é maior do que o Pantanal, sendo 2,3% superior (0,637 para 0,652). Já em relação a ET, o R^2 Ajustado do Cerrado é bem maior do que o Pantanal, sendo 90,65% superior (0,070 para 0,749). Esses dados apontam que no ecossistema Pantanal, NEE possui maior relevância, e as variáveis que mais influenciam neste caso são: Usolo, PPT, Tar e Urar. Já no Cerrado, GPP e ET possuem maior relevância, e as variáveis que mais influenciam neste caso são: Tar, VPD, Usolo e Urar.

Se levarmos em consideração apenas a evapotranspiração (Figura 33), a variável que mais influencia no Pantanal é a temperatura do solo, e as variáveis que

mais influenciam a evapotranspiração no Cerrado são a umidade do solo, temperatura do ar, umidade relativa do ar, e déficit de pressão de vapor.

Tabela 2: Raiz quadrada do erro médio (RMSE), R^2 e R^2 Ajustado das variáveis NEE, GPP e ET versus Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, assim como NEE, GPP e ET versus variáveis de interesse, ou seja, que mais influenciam NEE, GPP e ET, considerando um IC de 95%.

	Análise por regressão múltipla	NEE vs Tudo	NEE vs variáveis de interesse	GPP vs Tudo	GPP vs variáveis de interesse	ET vs Tudo	ET vs variáveis de interesse
Pantanal	Raiz quadrada do erro médio (RMSE)	0.863	1.05	0.766	0.948	40.9	41.2
	R^2	0.635	0.539	0.795	0.670	0.218	0.086
	R^2 Ajustado	0.577	0.498	0.763	0.637	0.094	0.070
Cerrado	Raiz quadrada do erro médio (RMSE)	0.74	0.79	1.06	1.11	8.87	8.82
	R^2	0.344	0.192	0.715	0.662	0.769	0.764
	R^2 Ajustado	0.280	0.180	0.687	0.652	0.747	0.749

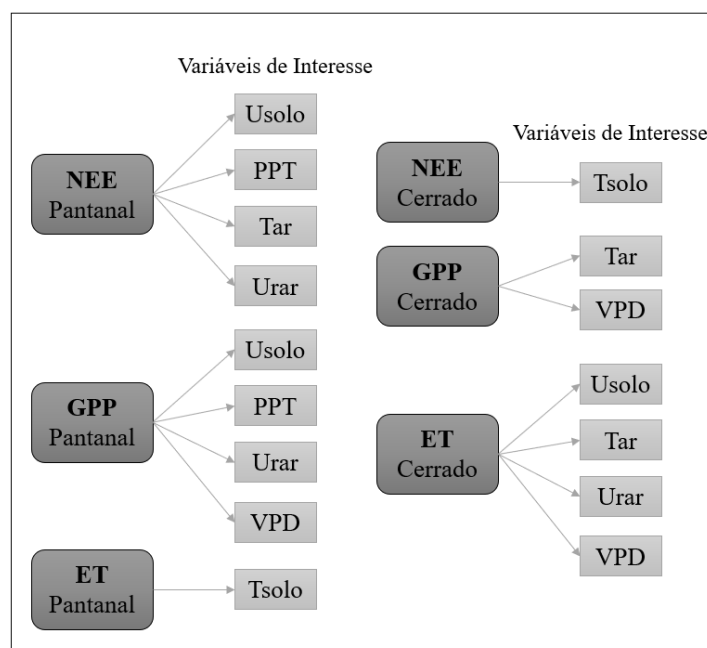


Figura 33: Variáveis que mais influenciam NEE, GPP e ET dos ecossistemas Pantanal e Cerrado, considerando $p \leq 0,05$.

As Tabelas 3 à 8 apresentam Regressão múltipla dos ecossistemas Pantanal e Cerrado, de NEE, GPP e ET vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores-p, e também Regressão múltipla de NEE, GPP e ET vs variáveis de interesse (conforme mostrado também na Figura 33), considerando IC de 95%. Cada tabela apresenta um resultado para todas as variáveis, e também um segundo resultado contemplando somente as variáveis que obtiveram um $p \leq 0,05$.

No intuito de demonstrar que os termos de erros são normalmente distribuídos, foram plotados gráficos (Figura 34) de probabilidade normal de resíduos dos ecossistemas Pantanal e Cerrado. Os dados, médias de 15 dias, são comparados a uma curva normal padrão teórica. Esses gráficos não mostraram grandes distorções nos resíduos, nem distribuições com “heavy-tailed”, exceto pela Figura 34C, que apresenta de fato uma cauda pesada no início do gráfico. Sendo assim, para este caso específico, é mais interessante elaborar um modelo com polinômio de maior grau.

Para comprovar a cauda pesada da Figura 34C, e também verificar a qualidade dos ajustes dos modelos, foi gerada a Figura 35, que procura evidências de autocorrelação entre os resíduos. Se o gráfico exibir uma nuvem de pontos aleatórios,

isso indica ausência de correlação, que no geral, é bom, significando que o modelo foi capaz de captar bem a relação entre as variáveis. Caso contrário, ao identificar uma relação linear, por exemplo, dos resíduos com atraso ($t-1$), isso sugere que o modelo não está sendo capaz de capturar alguma tendência. Observe que a nuvem de pontos aleatórios da Figura 35C comprova a cauda da Figura 34C.

A cauda pesada observada na Fig. 34C, e comprovada pela Fig. 35C dos resíduos com atraso ($t-1$), pode ser um indicativo do porque a evapotranspiração se mostrou consideravelmente maior do que a precipitação no bioma Pantanal, ao longo de todo período, quando comparado ao bioma Cerrado estudado, conforme observado através das Figuras 24D e 28D. É provável que a proximidade da estação de estudo Baía da Pedras com o Rio Cuiabá, e mais próximo ainda ao rio Piraim, esteja influenciando no valor mais alto observado da ET, ou seja, há uma evaporação da água da inundação, e não somente da água que está naquela localidade. Isso é interessante, pois o mesmo não foi constatado nos dados obtidos no Cerrado, onde a ET é bem próxima da PPT (Figuras 28D, 34F e 35F).

Ajustando o grau da equação para um polinômio de 2ª ordem, e utilizando a função *Robust Bisquare*, foi gerada a Figura 36 (ET vs Tsolo, ou seja, ET vs variáveis de interesse). A função *Robust Bisquare* foi escolhida pois minimiza uma soma ponderada de quadrados, onde o peso dado a cada ponto de dados depende de quão longe o ponto está da linha montada, ou seja, pontos próximos à linha ganham peso total, e pontos mais distantes da linha têm peso reduzido. Pontos que estão mais distantes da linha do que seriam ser esperado, podem obter peso zero. Este método procura simultaneamente encontrar uma curva que se ajuste à maior parte dos dados usando a abordagem usual de mínimos quadrados e minimiza também o efeito de possíveis *outliers* (THE MATHWORKS, 2004). Note que o valor de R^2 Ajustado obtido pelo modelo de 2º grau foi de ≈ 0.695 , bem maior do que o valor de 0.070 (Tabela 2, ET vs variáveis de interesse).

Tabela 3: Regressão múltipla do ecossistema Pantanal, de NEE vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p , e também Regressão múltipla de NEE vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.

Regressão Múltipla para NEE vs Tudo (Pantanal) Modelo de regressão linear $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste ($tStat$)	Valor-p
Variável	Intercepto	-6.433259	6.511835	-0.987933	0.329434
Temperatura do solo (Tsolo)	x1	0.301293	0.259072	1.162971	0.252093
Umidade do solo (Usolo)	x2	-0.125292	0.037346	-3.354893	0.001811
Precipitação (PPT)	x3	-0.007441	0.002873	-2.589568	0.013548
Temperatura do ar (Tar)	x4	-0.492160	0.219866	-2.238452	0.031128
Umidade relativa do ar (Urar)	x5	0.192108	0.085303	2.252073	0.030177
Deficit de pressão de vapor (VPD)	x6	0.033201	0.733650	0.045255	0.964141
NEE vs Variáveis de interesse (IC de 95%)		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste ($tStat$)	Valor-p
Variável	Intercepto	-11.057754	5.579745	-1.981767	0.053634
Umidade do solo (Usolo)	x2	-0.167500	0.035252	-4.751534	0.000021
Precipitação (PPT)	x3	-0.011348	0.003231	-3.511580	0.001026
Temperatura do ar (Tar)	x4	-0.227453	0.070647	-3.219557	0.002385
Umidade relativa do ar (Urar)	x5	0.288257	0.079861	3.609507	0.000767

Tabela 4: Regressão múltipla do ecossistema Pantanal, de GPP vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p , e também Regressão múltipla de GPP vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.

Regressão Múltipla para GPP vs Tudo (Pantanal) Modelo de regressão linear $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste ($tStat$)	Valor-p
Variável	Intercepto	10.363400	5.776640	1.794019	0.080770
Temperatura do solo (Tsolo)	x1	-0.018231	0.229822	-0.079326	0.937190
Umidade do solo (Usolo)	x2	0.114318	0.033130	3.450609	0.001385
Precipitação (PPT)	x3	0.012063	0.002549	4.732495	0.000031
Temperatura do ar (Tar)	x4	0.271260	0.195043	1.390767	0.172387
Umidade relativa do ar (Urar)	x5	-0.190267	0.075672	-2.514360	0.016278
Deficit de pressão de vapor (VPD)	x6	-1.788385	0.650820	-2.747894	0.009123
GPP vs Variáveis de interesse (IC de 95%)		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste ($tStat$)	Valor-p
Variável	Intercepto	18.870414	6.806634	2.772356	0.008409
Umidade do solo (Usolo)	x2	0.129245	0.032484	3.978683	0.000284
Precipitação (PPT)	x3	0.016565	0.002904	5.703458	0.000001
Umidade relativa do ar (Urar)	x5	-0.225042	0.088275	-2.549330	0.014732
Deficit de pressão de vapor (VPD)	x6	-2.091271	0.792463	-2.638951	0.011795

Tabela 5: Regressão múltipla do ecossistema Pantanal, de ET vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p , e também Regressão múltipla de ET vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.

Regressão Múltipla para ET vs Tudo (Pantanal) Modelo de regressão linear $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste ($tStat$)	Valor-p
Variável	Intercepto	-47.542978	308.778855	-0.153971	0.878447
Temperatura do solo (Tsolo)	x1	25.269879	12.284682	2.057023	0.046595
Umidade do solo (Usolo)	x2	0.699950	1.770884	0.395254	0.694865
Precipitação (PPT)	x3	-0.085230	0.136251	-0.625535	0.535359
Temperatura do ar (Tar)	x4	-14.375803	10.425646	-1.378888	0.175992
Umidade relativa do ar (Urar)	x5	-2.064976	4.044898	-0.510514	0.612645
Deficit de pressão de vapor (VPD)	x6	-5.376536	34.788303	-0.154550	0.877994
ET vs Variáveis de interesse (IC de 95%)		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste ($tStat$)	Valor-p
Variável	Intercepto	-70.860894	67.656529	-1.047362	0.299204
Temperatura do solo (Tsolo)	x1	6.132599	2.611356	2.348434	0.022223

Tabela 6: Regressão múltipla do ecossistema Cerrado, de NEE vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p , e também Regressão múltipla de NEE vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.

Regressão Múltipla para NEE vs Tudo (Cerrado) Modelo de regressão linear $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste ($tStat$)	Valor-p
Variável	Intercepto	-7.415892	4.891252	-1.516154	0.134646
Temperatura do solo (Tsolo)	x1	0.264488	0.101362	2.609347	0.011395
Umidade do solo (Usolo)	x2	-0.002600	0.171875	-0.015130	0.987978
Precipitação (PPT)	x3	-0.002469	0.002735	-0.902536	0.370322
Temperatura do ar (Tar)	x4	-0.286399	0.168737	-1.697316	0.094734
Umidade relativa do ar (Urar)	x5	0.079173	0.072203	1.096542	0.277152
Deficit de pressão de vapor (VPD)	x6	0.204902	0.167242	1.225183	0.225216
NEE vs Variáveis de interesse (IC de 95%)		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste ($tStat$)	Valor-p
Variável	Intercepto	-4.854816	1.454702	-3.337326	0.001393
Temperatura do solo (Tsolo)	x1	0.190828	0.048116	3.966019	0.000182

Tabela 7: Regressão múltipla do ecossistema Cerrado, de GPP vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p, e também Regressão múltipla de GPP vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.

Regressão Múltipla para GPP vs Tudo (Cerrado) Modelo de regressão linear $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste (tStat)	Valor-p
Variável	Intercepto	6.480133	6.977551	0.928712	0.356699
Temperatura do solo (Tsolo)	x1	-0.246386	0.144597	-1.703958	0.093479
Umidade do solo (Usolo)	x2	0.224829	0.245185	0.916977	0.362766
Precipitação (PPT)	x3	0.000537	0.003902	0.137558	0.891043
Temperatura do ar (Tar)	x4	0.825043	0.240709	3.427556	0.001096
Umidade relativa do ar (Urar)	x5	-0.169949	0.103000	-1.649991	0.104085
Deficit de pressão de vapor (VPD)	x6	-0.597887	0.238577	-2.506057	0.014892
GPP vs Variáveis de interesse (IC de 95%)		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste (tStat)	Valor-p
Variável	Intercepto	-6.397151	2.190945	-2.919814	0.004809
Temperatura do ar (Tar)	x4	0.469746	0.085899	5.468570	0.000001
Deficit de pressão de vapor (VPD)	x6	-0.282964	0.025357	-11.159080	0.000000

Tabela 8: Regressão múltipla do ecossistema Cerrado, de ET vs variáveis Tsolo, Usolo, PPT, Tar, Urar e VPD, com interceptos, erros padrão, estatística teste e valores p, e também Regressão múltipla de ET vs variáveis de interesse, considerando IC de 95%.

Regressão Múltipla para ET vs Tudo (Cerrado) Modelo de regressão linear $y \sim 1 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste (tStat)	Valor-p
Variável	Intercepto	83.975349	58.618968	1.432563	0.157088
Temperatura do solo (Tsolo)	x1	-0.560127	1.214767	-0.461098	0.646368
Umidade do solo (Usolo)	x2	5.845261	2.059823	2.837749	0.006160
Precipitação (PPT)	x3	-0.028690	0.032783	-0.875152	0.384924
Temperatura do ar (Tar)	x4	6.772924	2.022215	3.349260	0.001393
Umidade relativa do ar (Urar)	x5	-2.083881	0.865311	-2.408245	0.019067
Deficit de pressão de vapor (VPD)	x6	-6.420458	2.004302	-3.203338	0.002161
ET vs Variáveis de interesse (IC de 95%)		Estimativa	Erro padrão (SE)	Estatística teste (tStat)	Valor-p
Variável	Intercepto	81.728549	54.392509	1.502570	0.137946
Umidade do solo (Usolo)	x2	5.165075	1.309754	3.943547	0.000204
Temperatura do ar (Tar)	x4	6.202444522	1.389547493	4.463643419	0.000034
Umidade relativa do ar (Urar)	x5	-2.061881494	0.837897971	-2.460778718	0.016616
Deficit de pressão de vapor (VPD)	x6	-6.401222976	1.936271791	-3.30595271	0.001566

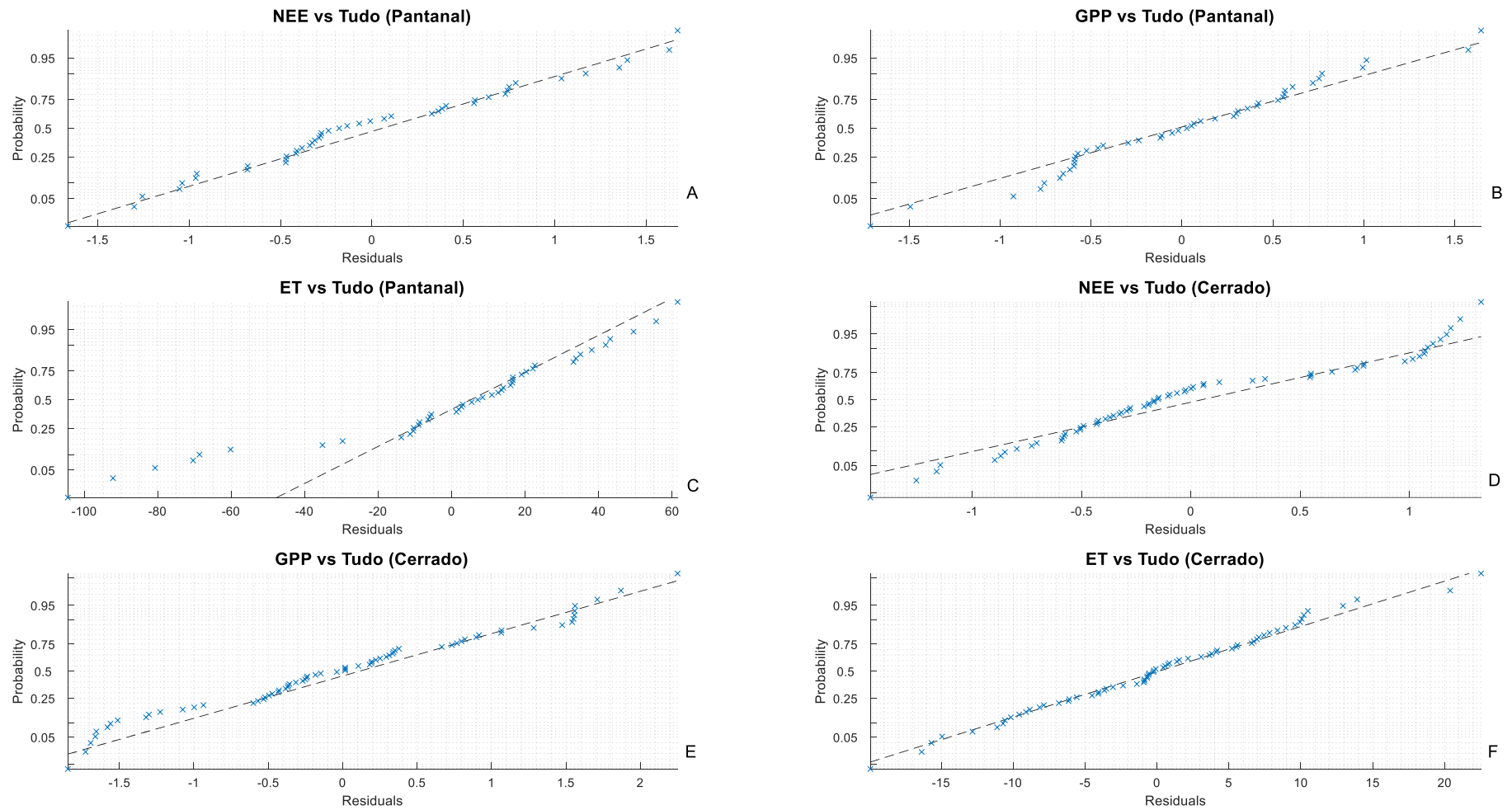


Figura 34: Gráficos de probabilidade normal de resíduos dos ecossistemas Pantanal e Cerrado. Os dados (médias de 15 dias) são comparados a uma curva normal padrão teórica. Gráficos A, B e C, correspondem ao Bioma Pantanal, e os Gráficos D, E e F correspondem ao Bioma Cerrado.

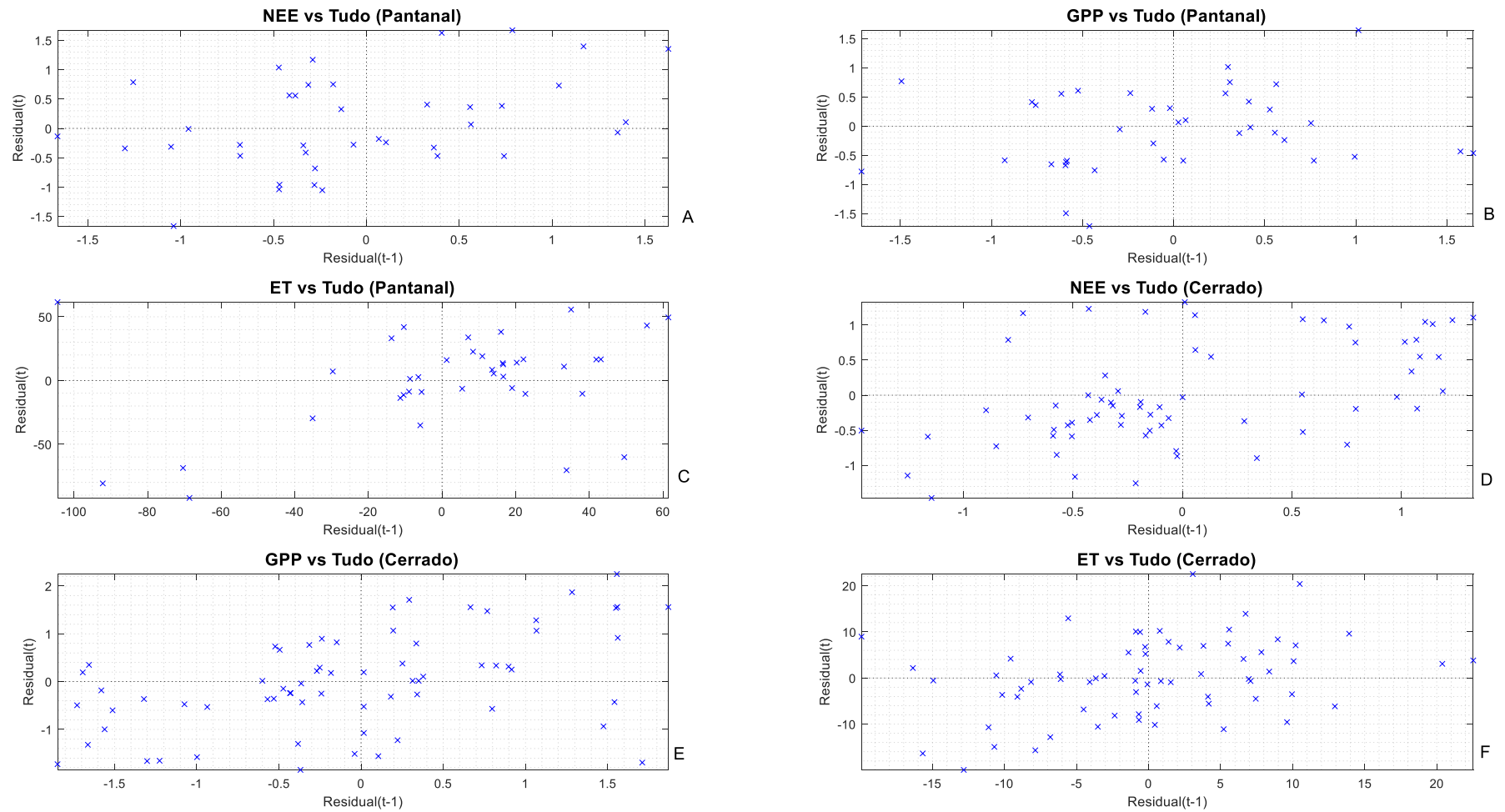


Figura 35: Gráficos de resíduos vs resíduos defasados $r(t)$ vs $r(t-1)$. Gráficos A, B e C, correspondem ao Bioma Pantanal, e os Gráficos D, E e F correspondem ao Bioma Cerrado.

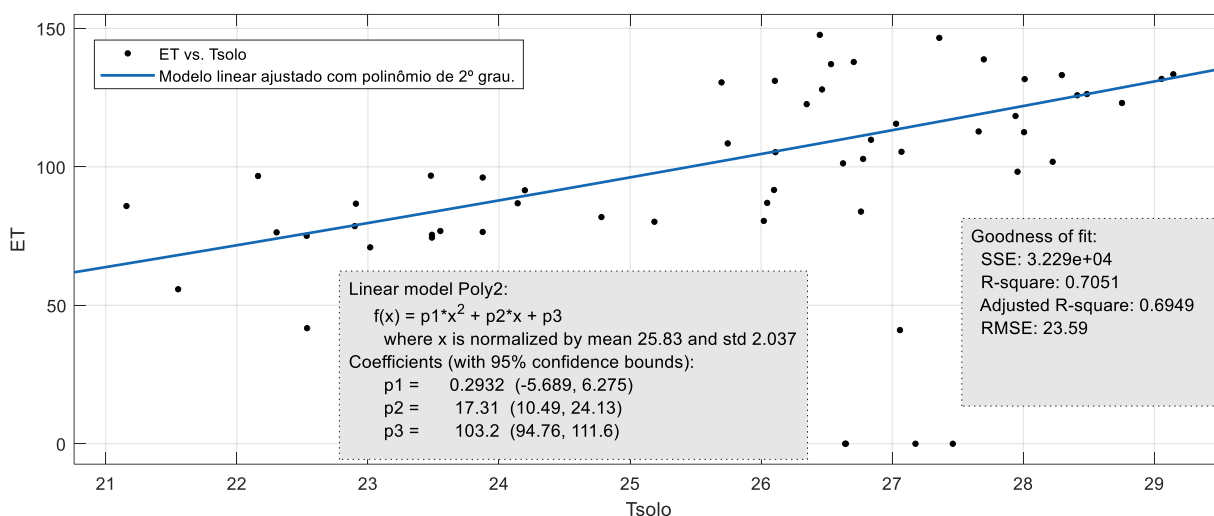


Figura 36: Modelo linear obtido no *Curve Fitting Tool* (Matlab) ajustado com polinômio de 2º grau (*Robust Bisquare*). ET vs Tsolo do Bioma Pantanal e dados obtidos: coeficientes da equação (p1, p2 e p3) com IC de 95%, R², R² Ajustado e RMSE.

As Tabela 9 e 10 apresentam amostras *bootstrap* do Pantanal e Cerrado para a média (μ), com 2.000 reamostras e IC de 95%, para o saldo de radiação e seus componentes (Rn, LE, H e G). Já as tabelas 11 e 12, apresentam amostras *bootstrap* normalizadas, do Pantanal e Cerrado. No intuito de facilitar a discussão e obter maior entendimento das Tabelas 9, 10, 11 e 12, geraram-se as Figuras 37 e 38, onde os dados das tabelas são plotados com seus respectivos períodos de chuva e seca, para cada ano analisado.

Conforme observado na Tabela 9 e Figura 37A, o saldo de radiação (Rn) apresentou variação sazonal considerável, possuindo maiores médias em períodos de chuva no Pantanal, em todos os anos observados, e valores mais baixos durante a estação seca. A Tabela 10 e Figura 37B mostra que no Cerrado, o saldo de radiação (Rn) possui maiores médias também em períodos de chuva, em todos os anos observados, sem exceção, e menores médias em período de seca. De acordo com Sanches *et al.* (2011), o Rn mais alto durante a estação chuvosa é consistente com a variação sazonal do ângulo solar. Vourlitis *et al.* (2008) e Rocha *et al.* (2009) afirmam também que Cerrado e floresta tropical na parte sul da Bacia Amazônica possuem o mesmo padrão sazonal de Rn. Esse comportamento é diferente dos registrados em florestas equatoriais próximas a Manaus, onde a vegetação é de dossel fechado de terra firme, não inundada (MALHI *et al.*, 2002).

As menores variações observadas, em grande parte, nas variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, e saldo de radiação R_n , no período de chuva, no Pantanal e Cerrado, se deve ao fato de haver mais vapor de água na atmosfera, apresentando ótima absorção de ondas longas, amenizando a amplitude das variáveis climáticas, proporcionando também maior aproveitamento da energia para o saldo de radiação (SANTOS *et al.*, 2013). Por outro lado, Machado *et al.* (2016) e Curado *et al.* (2014) relatam que durante o período de seca, ocorrem maiores picos de queimadas, aumentando a quantidade de material particulado na atmosfera, e a presença desses aerossóis, associada ao baixo teor de vapor de água na atmosfera, ocasionam menor aproveitamento da energia solar incidente em forma de saldo de radiação.

Analisando a Tabela 9 e Figura 37A, relativas ao Pantanal, nota-se que o fluxo de calor latente foi maior do que o fluxo de calor sensível em todo horizonte analisado, resultado semelhante ao encontrado por Duarte *et al.* (2018) na mesma estação de estudo para os anos 2011, 2012 e 2013, ou seja, LE e H para os anos 2014, 2015 e 2016 mantiveram o mesmo comportamento. O fluxo de calor no solo se manteve próximo também ao fluxo de calor sensível em parte do horizonte de análise, de janeiro à setembro de 2014, e de outubro à dezembro de 2016. No período de seca (Abr-Set) em 2015 houve um fluxo muito maior de calor sensível, quando comparado ao fluxo de calor do solo, conforme mostra o pico negativo na Figura 37A.

Em relação ao Cerrado, analisando a Tabela 10 e Figura 37B, observa-se que o fluxo de calor latente foi também maior do que o fluxo de calor sensível em todo horizonte analisado, no entanto é possível perceber que o *range* (31,76% em 2011, 37,81% em 2012 e 47,13% em 2013), dos fluxos de calor latente e de calor sensível foram menores na estação de seca do que os *ranges* observados no Pantanal (82,42% em 2014, 76,80% em 2015 e 75,86% em 2016) no mesmo período, mais não ocorre a inversão dos fluxos, especialmente da metade de cada estação de seca até o final dela, conforme visto no trabalho do De Arruda (2014). No entanto, o mesmo comportamento (tendência) de queda do fluxo de calor latente ao mesmo tempo da elevação do calor sensível, do início até a metade de cada período de seca, e depois a subida gradativa do fluxo de calor latente, da metade do período de seca em diante, permanece o mesmo. Essa tendência observada aqui, diante da inversão esperada para este bioma, em relação a LE e H, se deve ao fato de os gráficos gerados neste trabalho

serem frutos de médias de 15 dias, e a Figura 37B ser reflexo das amostras *bootstrap*.

Ainda na Figura 37B e Tabela 10, relativo ao Cerrado, pode-se observar que o fluxo de calor no solo manteve um comportamento similar ao fluxo de calor sensível, durante todo horizonte de tempo analisado. As médias observadas para H foram maiores ao final de cada ano, em períodos de chuva, relativo aos meses de setembro a dezembro, e menores no início de cada ano, também em período de chuva. As médias de G foram negativas no início de cada ano, nos períodos chuvosos de janeiro a março.

Analisando agora as Tabelas 11 e 12 juntamente com a Figura 38, é possível avaliar as semelhanças/diferenças entre os dos biomas, por meio de dados normalizados, tendo em vista a comparação de anos distintos, conforme já explicado neste trabalho. A Figura 38 mostra que o fluxo de calor sensível no Pantanal é maior do que no Cerrado de janeiro a março, e de setembro a dezembro do primeiro ano, a partir de janeiro do segundo ano, H fica maior durante todo o restante do horizonte de análise. O LE do Pantanal é maior também de janeiro a março, e de setembro a dezembro do primeiro ano, quando comparado ao Cerrado, mas após esse período LE do Cerrado permanece maior até o final do terceiro ano.

Ainda na Figura 38, o fluxo de calor no solo G no Pantanal é maior em quase todo horizonte de análise, exceto de janeiro a março do primeiro ano, e de setembro a dezembro do primeiro ano. O Saldo de radiação Rn é maior no Cerrado, na maior parte do tempo, e mostrou-se também 29,97% maior do que o Rn do Pantanal para período de seca do primeiro ano, 60,98% maior no período de seca do segundo ano e aproximadamente 1% maior no período de seca do terceiro ano.

A Figura 39 expande as Tabelas 9 e 10 para dados mensais, e plota amostras *bootstrap* do Pantanal e Cerrado para a média (μ), com 2.000 reamostras mês a mês, em um horizonte de 3 anos, e ICs de 95%, para o saldo de radiação e seus componentes (Rn, LE, H e G). A lacuna apresentada na Figura 39A referente aos meses de julho a novembro de 2014, são dados não disponíveis, assim como no período de janeiro e fevereiro de 2011 para o Cerrado (Figura 39B).

Tabela 9: Amostras *Bootstrap* do Pantanal para a média (μ), com 2.000 reamostras e Intervalos de Confiança IC de 95%.

Ano	Período	μ (H)	IC (H)	μ (LE)	IC (LE)	μ (Rn)	IC (Rn)	μ (G)	IC (G)
2014	Chuva (Jan-Mar)	21,70	19,94	127,96	123,76	159,29	152,24	5,50	1,59
			23,49		132,23		166,46		9,42
	Seca (Abr-Set)	17,01	15,61	96,71	93,30	117,82	111,30	3,34	0,59
			18,34		100,13		124,38		6,20
	Chuva (Out-Dez)	-8,01	-8,46	30,25	27,18	156,62	29,60	-62,12	-70,64
			-7,55		33,30		279,91		-53,92
2015	Chuva (Jan-Mar)	20,04	18,73	135,60	130,94	177,45	168,73	19,49	16,09
			21,39		140,10		186,24		22,89
	Seca (Abr-Set)	20,51	19,42	88,40	85,99	122,12	117,55	-119,24	-124,74
			21,61		90,81		126,81		-113,92
	Chuva (Out-Dez)	37,41	35,06	110,76	106,56	161,82	154,26	13,66	10,48
			39,78		114,96		169,47		16,91
2016	Chuva (Jan-Mar)	17,07	15,73	127,66	122,93	157,18	149,68	12,40	9,25
			18,40		132,38		164,96		15,58
	Seca (Abr-Set)	21,38	20,18	88,57	86,22	121,50	116,79	11,61	9,66
			22,56		90,87		126,26		13,60
	Chuva (Out-Dez)	18,77	17,41	128,86	123,80	159,85	152,13	12,22	9,07
			20,15		133,88		167,39		15,43

Tabela 10: Amostras *Bootstrap* do Cerrado para a média (μ), com 2.000 reamostras e Intervalos de Confiança IC de 95%.

Ano	Período	μ (H)	IC (H)	μ (LE)	IC (LE)	μ (Rn)	IC (Rn)	μ (G)	IC (G)
2011	Chuva (Jan-Mar)	24,33	21,98	105,22	99,51	121,81	109,96	-1,29	-3,17
			26,64		111,13		133,27		0,59
	Seca (Abr-Ago)	39,28	37,64	57,56	55,86	101,78	97,02	4,02	2,82
			40,93		59,23		106,64		5,21
	Chuva (Set-Dez)	50,67	48,45	67,15	64,94	125,17	118,87	6,08	4,51
			52,91		69,38		131,37		7,71
2012	Chuva (Jan-Mar)	25,63	24,13	119,94	116,13	147,71	139,38	-2,24	-3,33
			27,15		123,84		156,06		-1,13
	Seca (Abr-Ago)	38,13	36,61	61,31	59,49	102,87	97,77	1,22	0,33
			39,67		63,15		107,83		2,12
	Chuva (Set-Dez)	39,65	37,62	78,89	76,28	116,83	110,99	-0,45	-1,34
			41,62		81,40		122,79		0,44
2013	Chuva (Jan-Mar)	24,35	22,89	120,95	116,97	132,97	125,47	-1,46	-2,38
			25,84		125,01		140,19		-0,57
	Seca (Abr-Ago)	39,94	38,18	67,84	65,93	103,18	98,42	3,67	2,62
			41,72		69,76		107,82		4,71
	Chuva (Set-Dez)	41,54	39,45	75,40	72,91	128,50	122,41	5,88	4,52
			43,59		77,90		134,74		7,25

Tabela 11: Amostras *Bootstrap* normalizadas do Pantanal para a média (μ), com 2.000 reamostras e Intervalos de Confiança IC de 95%.

	Período	μ (H)	IC (H)	μ (LE)	IC (LE)	μ (Rn)	IC (Rn)	μ (G)	IC (G)
2014	Chuva (Jan-Mar)	0,854	0,853	0,600	0,599	0,290	0,284	0,266	0,266
			0,855		0,601		0,296		0,267
	Seca (Abr-Set)	0,132	0,128	0,178	0,174	0,215	0,207	0,595	0,593
			0,136		0,183		0,222		0,598
	Chuva (Out-Dez)	0,604	0,331	0,505	0,304	0,303	0,107	0,335	-0,205
			0,875		0,701		0,495		0,877
2015	Chuva (Jan-Mar)	0,159	0,155	0,174	0,170	0,305	0,298	0,543	0,540
			0,163		0,179		0,313		0,546
	Seca (Abr-Set)	0,137	0,135	0,146	0,143	0,192	0,188	0,675	0,672
			0,140		0,149		0,197		0,678
	Chuva (Out-Dez)	0,112	0,108	0,093	0,091	0,224	0,216	0,760	0,758
			0,116		0,096		0,231		0,761
2016	Chuva (Jan-Mar)	0,151	0,147	0,116	0,113	0,201	0,193	0,672	0,671
			0,156		0,120		0,208		0,674
	Seca (Abr-Set)	0,197	0,194	0,115	0,112	0,225	0,220	0,646	0,644
			0,199		0,117		0,231		0,647
	Chuva (Out-Dez)	0,154	0,149	0,101	0,098	0,239	0,231	0,771	0,769
			0,158		0,105		0,246		0,772

Tabela 12: Amostras *Bootstrap* normalizadas do Cerrado para a média (μ), com 2.000 reamostras e Intervalos de Confiança IC de 95%.

Ano	Período	μ (H)	IC (H)	μ (LE)	IC (LE)	μ (Rn)	IC (Rn)	μ (G)	IC (G)
2011	Chuva (Jan-Mar)	0,362	0,355	0,291	0,283	0,210	0,197	0,446	0,440
			0,369		0,300		0,222		0,452
	Seca (Abr-Ago)	0,306	0,302	0,220	0,217	0,307	0,301	0,381	0,376
			0,309		0,222		0,312		0,385
	Chuva (Set-Dez)	0,276	0,272	0,258	0,254	0,277	0,271	0,449	0,445
			0,280		0,261		0,283		0,453
2012	Chuva (Jan-Mar)	0,309	0,305	0,273	0,268	0,277	0,269	0,401	0,397
			0,313		0,278		0,285		0,405
	Seca (Abr-Ago)	0,261	0,258	0,216	0,214	0,492	0,490	0,513	0,510
			0,265		0,219		0,494		0,517
	Chuva (Set-Dez)	0,258	0,254	0,236	0,233	0,269	0,263	0,566	0,563
			0,262		0,240		0,275		0,569
2013	Chuva (Jan-Mar)	0,303	0,299	0,315	0,310	0,201	0,193	0,524	0,521
			0,306		0,319		0,208		0,528
	Seca (Abr-Ago)	0,304	0,300	0,253	0,251	0,227	0,222	0,318	0,313
			0,307		0,256		0,232		0,323
	Chuva (Set-Dez)	0,272	0,268	0,261	0,257	0,285	0,279	0,417	0,413
			0,275		0,264		0,291		0,422

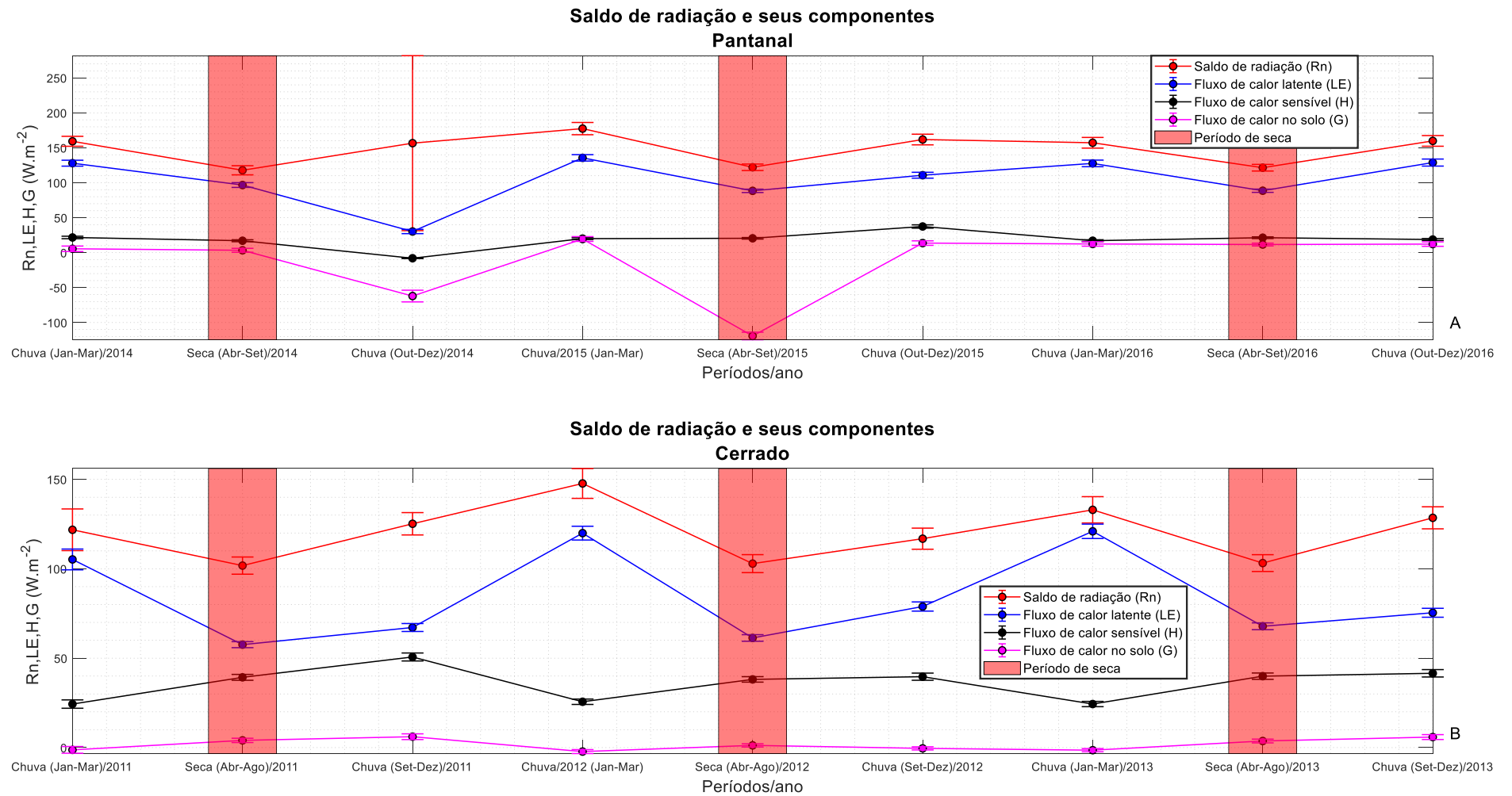


Figura 37: Gráfico das médias (μ) bootstrap de Rn, LE, H e G, e seus respectivos Intervalos de Confiança, obtidos a partir da Tabela 9 e 10. O Gráfico “A” plota as médias e ICs relativos à Tabela 9 (Pantanal), e o Gráfico B plota as médias e ICs relativos à Tabela 10 (Cerrado).

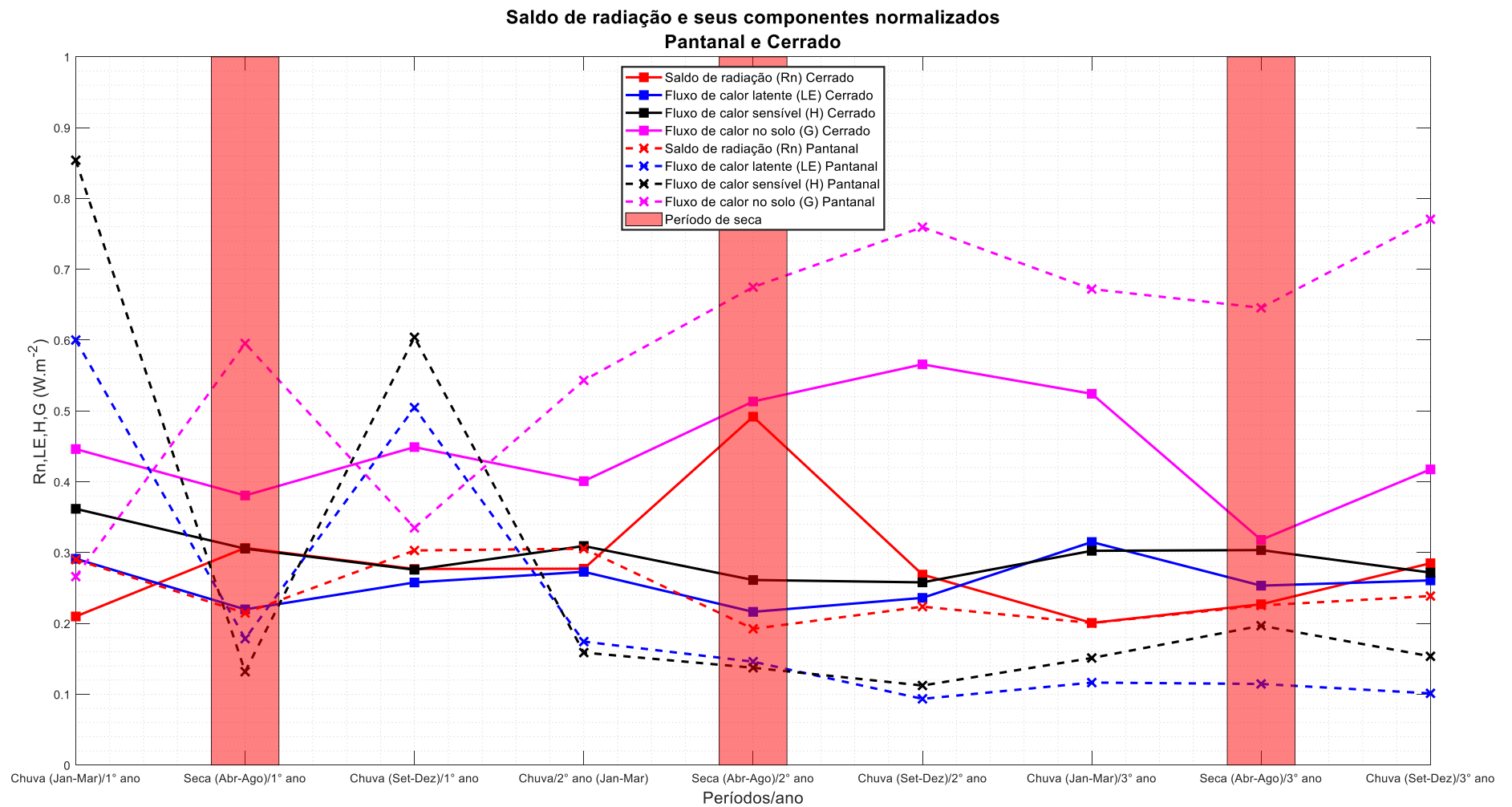


Figura 38: Gráfico das médias (μ) bootstrap normalizadas de R_n , LE, H e G, obtidas a partir das Tabelas 11 e 12, relativas aos Biomas Pantanal e Cerrado.

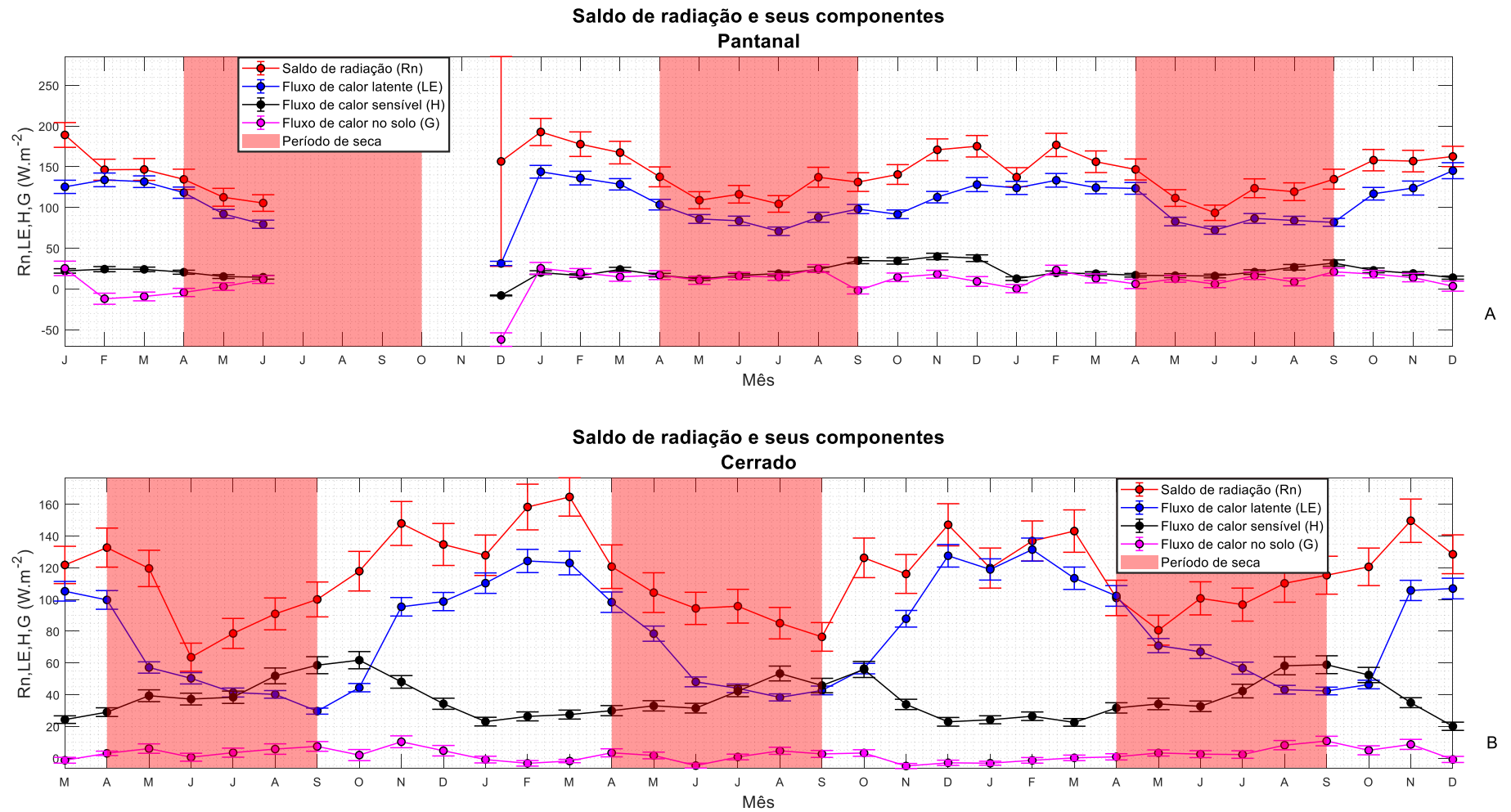


Figura 39: Gráfico das médias (μ) bootstrap mensais (horizonte de três anos) de Rn, LE, H e G, e seus respectivos Intervalos de Confiança. O Gráfico “A” plota as médias e ICs relativos ao Pantanal, período de janeiro de 2014 à dezembro de 2016, e o Gráfico B plota as médias e ICs relativos ao Cerrado, período de março de 2011 à dezembro de 2013.

A modo de comparação, em relação a proporção da evapotranspiração do bioma Pantanal e Cerrado, foi gerada a Figura 40, com dados não normalizados. Observe que a ET no Pantanal é bem superior à do Cerrado, seguindo também o mesmo padrão da Figura 32C, plotada com dados normalizados. Percebe-se claramente a sazonalidade entre o período de seca e de chuva para os dois biomas, no entanto, para o Pantanal, os dados mostram tendência de manter sempre alta a ET ao longo de cada ano, independente do período de chuva ou seca, e em determinados momentos o valor da ET no Pantanal é o dobro da medida no Cerrado, especialmente na estação chuvosa.

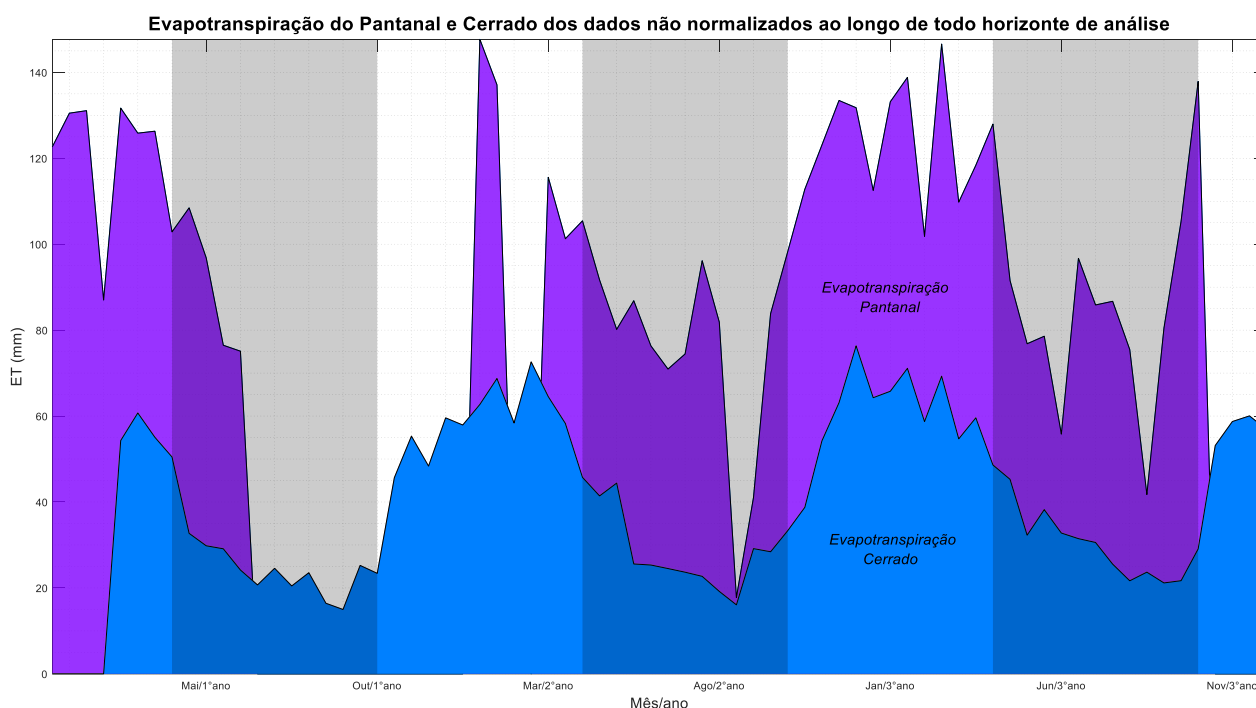


Figura 40: Gráfico da Evapotranspiração dos dados não normalizados dos biomas Pantanal e Cerrado. A curva de cor roxa, preenchida, é relativo ao Pantanal, e a curva azul é relativa ao Cerrado. A faixa cinza destaca o período de seca.

Houve apenas um período, de junho do primeiro ano até outubro do primeiro ano, em que a ET não seguiu essa tendência de se manter alta no Pantanal. Interessante notar também que o comportamento da ET seguiu o comportamento de R_n , conforme pode ser visto nas Figuras 37A e 37B. Sanches *et al.* (2011) afirma que a ET pronunciada no Pantanal é em grande parte atribuível às variações sazonais do R_n e da disponibilidade de água no solo, e que também, dado o lençol freático relativamente

alto no local de estudo, o declínio da ET na estação seca é ocasionado mais por uma redução na evaporação do que por um declínio na transpiração das árvores, devido a inundação no período chuvoso.

No intuito de esclarecer as relações existentes entre desmatamento/queimadas, foi elaborado (Figura 41) um diagrama de laço causal (DLC), de natureza qualitativa, que nada mais são do que estruturas em forma de grafos, utilizados para a visualização de qualquer sistema, através da identificação de suas características estruturais, das relações de causa e efeito e dos tempos de espera (*delays* ou atrasos) presentes no comportamento do sistema. Todo o raciocínio da construção deste DLC foi baseado nos resultados dos estudos dos seguintes autores: Ruppenthal (2020), Fearnside (2015), Spracklen (2012), Aragão (2012 e 2018), Rios Voadores (2010), Ipan (2019), Nepstad (1999), Brando *et al.* (2014 e 2019), Chambers e Artaxo (2017), Terra (2012) e Galford *et al.* (2011).

Em um DLC, uma relação de causa e efeito indica a influência que uma variável exerce sobre outra, ou seja, o efeito de qualquer outra variável é ignorado quando é analisada uma relação causal. É enfatizado pela simplicidade de representação do comportamento de um sistema, através do mapeamento dos seus elementos formadores e dos relacionamentos entre eles, isto é, de que forma um elemento influencia o comportamento de outro (SOUZA, 2010).

Analisando a Figura 41, e partindo do ponto “desmatamento”, quanto maior o desmatamento, tem-se como consequência maior seca (sinal positivo), e quando maior a seca associada ao desmatamento, maiores serão os focos de queimadas, provocando naturalmente uma diminuição da ET (simbolizado pelo sinal negativo), impactando diretamente na retroalimentação das águas através dos rios voadores, em direção ao sul do Brasil e América do Sul como um todo. Neste sentido, uma redução da ET pode fazer com que parte dessa retroalimentação das águas diminua ao longo do tempo, conforme cresce o desmatamento na Amazônia, Cerrado e Pantanal. Uma correta retroalimentação, implica subjetivamente em preservação do meio ambiente, ou seja, dos biomas, influenciando fortemente na qualidade do ar nas cidades mais próximas desses biomas.

Continuando a análise, também é possível observar que políticas públicas

eficientes/efetivas por parte do governo, provocará um efeito da diminuição do desmatamento, tendo como implicação de caráter prático também, uma redução das queimadas. Analisando a seca, quanto maior ela é, maior será o fluxo de carbono no ambiente, o que acaba por também reduzir a ET. É possível notar também que há uma interdependência entre desmatamento, seca e queimada, em relação aos rios voadores, e retroalimentação das águas transportadas pela atmosfera. Pulsos de inundação normais têm como efeito preservação do bioma e correta retroalimentação.

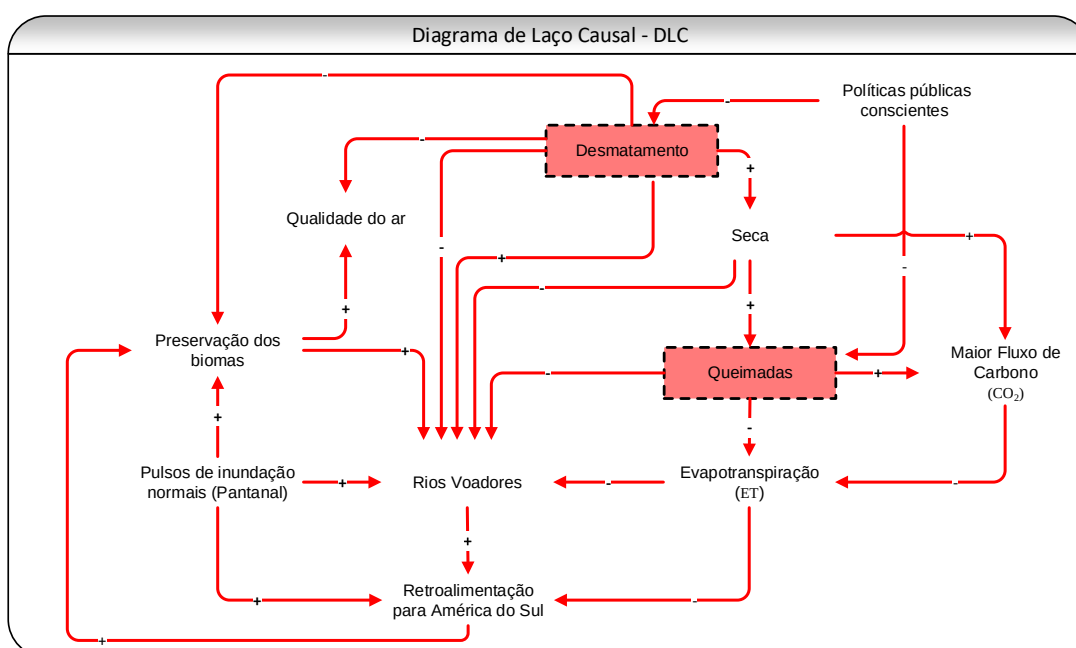


Figura 41: Diagrama de Laço Causal da relação entre desmatamento, seca e queimadas, sobre a retroalimentação dos rios voadores na Amazônia, Cerrado e Pantanal.

Fonte: Próprio autor.

5 CONCLUSÕES

A umidade relativa do ar foi maior no ecossistema Pantanal (Figura 30A), quando comparado ao Cerrado. E no Cerrado, especialmente nos períodos finais de seca, observou-se umidades bem baixas, por volta de 0.3 e 0.4. Em relação às temperaturas do ar (Figura 30B), ressalta-se que as mesmas são maiores no Cerrado, especialmente em agosto do segundo ano. Em janeiro do terceiro ano, notou-se também temperaturas equivalentes entre os dois ecossistemas, em período de chuva.

É importante frisar que não estão disponíveis os dados dos níveis de oxigênio do solo para o Cerrado, para que pudesse ser comparado com os do Pantanal, sendo assim, para o Pantanal, o O_2 do solo (Figura 31A) apresentou tendência de ser maior em período de chuva, ao mesmo tempo em que teve maiores picos neste período. A Figura 31B mostra que no geral, as médias de temperaturas do solo, no ecossistema Pantanal, foram maiores em boa parte do tempo. A Figura 31C, por sua vez, mostra maiores médias de umidades do solo, no ecossistema Pantanal, se comparado ao Cerrado, especialmente em períodos de seca.

Na Figura 32A, é possível observar maiores médias de trocas líquidas de CO_2 no Pantanal, sobretudo em períodos de seca, sendo que algumas inversões para o Cerrado ocorrem no período de chuva. Nos meses de maio e junho do 2º ano teve-se picos maiores de NEE no Cerrado, e nos meses de abril à outubro do 3º ano, teve-se picos bem menores do que os observados no Pantanal. A Figura 32B mostra que também, no geral, as médias de GPP foram maiores no Pantanal, com maiores valores em períodos de seca.

Após realizar análise através de regressão múltipla, foi possível inferir que as variáveis micrometeorológicas e de solo que mais influenciam a troca líquida de CO_2 no ecossistema (NEE), a produtividade primária bruta (GPP) e a evapotranspiração (ET) entre os biomas estudados, são distintas (Figura 33). Na base de pesquisa do Pantanal, por exemplo, verificou-se que entre os anos de 2014 à 2016, as variáveis que mais influenciaram o fluxo de NEE foram: Usolo, PPT, Tar e Urar. As variáveis que mais influenciaram o fluxo de GPP foram: Usolo, PPT, Urar e VPD. E em relação a evapotranspiração, a variável que mais influenciou foi a Tsolo. Já na base de pesquisa do Cerrado, verificou-se que entre os anos de 2011 à 2013, a variável que mais

influenciou o fluxo de NEE foi a T_{solo}. As variáveis que mais influenciaram o fluxo de GPP foram: Tar e VPD. E em relação a evapotranspiração, as variáveis que mais influenciaram foram: U_{solo}, Tar, U_{rar} e VPD.

É sabido que todas as variáveis, seja ela da atmosfera ou do solo, possuem sua parcela de participação nos fluxos estudados. Os resultados obtidos das variáveis que mais influenciam NEE, GPP e ET não excluem a importância de outras variáveis, inclusive as que não foram abordadas neste trabalho, mas dentre a proposta desse estudo, apresenta as que mais contribuem para esses fluxos. A Tabela 2 mostra R² e R² ajustado para NEE, GPP e ET, e juntamente com os gráficos de probabilidade normal de resíduos (Figura 34), e de resíduos vs resíduos defasados (Figura 35) é possível verificar que, dependendo da situação, o modelo linear necessita ser ajustado para polinômios de maior valor, conforme pode ser observado na Figura 36, onde a variável ET vs T_{solo} ajustada para polinômio de 2º grau, melhorou consideravelmente o R² ajustado, de 0.070 para 0.695. Quanto maior a ordem do polinômio, o ajuste ficará melhor, no entanto, para o propósito deste trabalho, que era detectar a influência de algumas variáveis sobre outras, o modelo linear atende bem.

A ET no Pantanal mostrou-se consideravelmente maior do que a do Cerrado (Figura 24D e 28D), sendo que a evapotranspiração mensal acumulada, ao final de todo o período no Pantanal, foi de 5.340,09 mm, e a do Cerrado foi de 2.843,93 mm. É possível observar que a evapotranspiração é maior do que a precipitação, durante quase todo o período de análise no Pantanal, e no Cerrado a ET é bem próxima a PPT. Os dados mostram tendência de se manter, no Pantanal, sempre alta a ET ao longo de cada ano, independente do período de chuva ou seca, e em determinados momentos o valor da ET no Pantanal é o dobro da medida no Cerrado (Figuras 40 e 32C), especialmente na estação chuvosa. Houve apenas um período, de junho do primeiro ano até outubro do primeiro ano, em que a ET não seguiu essa tendência de se manter alta no Pantanal. A ET no Cerrado também se mostra constante, mas em menor intensidade do que a observada no Pantanal. Tanto os dados brutos quanto os dados normalizados descrevem esse comportamento.

Sabe-se que o bioma Pantanal depende de chuvas provenientes da Amazônia através dos chamados “rios voadores” (Figura 10). Os pulsos de inundação gerados são cruciais, e possuem a capacidade de regular os processos ecológicos, e qualquer

alteração no ecossistema Amazônia influencia nos climas locais do Pantanal. Por isso a importância de se controlar o desmatamento na floresta Amazônica. O desmatamento tem como consequência a redução a evapotranspiração (Figura 11), inibindo a reciclagem de água e a quantidade de umidade transportada pela atmosfera, reduzindo as chuvas em outras regiões adiantes, regiões para as quais a umidade é transportada.

O diagrama de laço causal elaborado neste trabalho (Figura 41) mostra que o desmatamento influencia em maior seca, tendo como efeito a diminuição da ET, reduzindo a retroalimentação. Pulsos de inundação normais no Pantanal, tem como resultado a preservação do bioma. Monitorar os biomas através de estações de estudo, como as analisadas neste trabalho, são cruciais, pois alterações nas variáveis microclimáticas, de solo e fluxos de energia podem ser consequência de alterações na dinâmica da floresta Amazônica.

6. REFERÊNCIAS

AMARAL FILHO, Z.P. 1984. Solos do Pantanal Mato-Grossense. In **Anais do 1º Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal**. EMBRAPA-CPAP-UFMS, 265p. (EMBRAPA-CPAP, Documentos, 5)

ANGELL, R.F.; SVEJCAR, T.; BATES, J.; SALIENDRA N.Z.; JOHNSON, D.A. Bowen ratio and closed chamber carbon dioxide flux measurements over sagebrush steppe vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 108, p. 153 - 161, 2001.

ARAGÃO, L. E. O. 2012. The rainforest's water pump. **Nature** 489, 217-218. Disponível em: <https://doi-org.ez51.periodicos.capes.gov.br/10.1038/nature11485>. Acesso em 10/05/2021.

ARAGÃO, L.E.O.C.; ANDERSON, L.O.; FONSECA, M.G.; ROSAN, T.M.; VEDOVATO, L.B.; WAGNER, F.H.; SILVA, C.V.J.; SILVA JUNIOR, C.H.L.; ARAI, E.; AGUIAR, A.P.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.; DEETER, M.N.; DOMINGES, L.G.; GATTI, L.; GLOOR, M.; MALHI, Y.; MARENGO, J.A.; MILLER, J.B.; PHILLIPS, O.L.; SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**. volume 9, article number: 536, 2018.

ASSENG, S.; HSIAO, T.C. Canopy CO_2 assimilation, energy balance, and water use efficiency of an alfalfa crop before and after cutting. **Field Crops Research**, v.67, p.191-206, 2000.

AZEVEDO-RAMOS, C., MOUTINHO, P., 2018. No man's land in the Brazilian Amazon: Could undesignated public forests slow Amazon deforestation? **Land Use Policy** 73, 125–127. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.005>. Acesso em 15/05/2021.

BALDOCCHI, D. A Comparative study of mass and energy exchange rates over a closed C3 (wheat) and an open C4 (corn) crop: II. CO_2 exchange and water use efficiency. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.67, p.291-321, 1994.

BARBOSA DE OLIVEIRA, L. G. **Análise do sistema de coleta simultânea do perfil vertical de CO_2 no Pantanal Mato-Grossense**. 2018. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

BERNER R. A.; LASAGA, A. C. Modelling the Geochemical Carbon Cycle, **Scientific American**, vol 260; nº 3, March 1989.

BRANDO, P.M.; BALCH, J.K.; NEPSTAD, D.C.; MORTON, D.C.; PUTZ, F.E.; COE, M.T.; SILVÉRIO, D.; MACEDO, M.N.; DAVIDSON, E.A.; NÓBREGA, C.C.; ALENCAR, A.; SOARES-FILHO, B.S. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought–fire interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 111 (17) 6347-6352; doi:10.1073/pnas.1305499111, 2014.

BRANDO, P.M.; Paolucci, L.; Ummenhofer, C.C.; Ordway, E.M.; Hartmann, H.; Cattau, M.E., Rattis, L.; Medjibe, V.; Coe, M.C.; Balch, J. Droughts, Wildfires, and Forest Carbon Cycling: A Pantropical Synthesis. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences** 47:1, 555-581, 2019.

CHAMBERS, J. Q.; ARTAXO, P. Biosphere-Atmosphere Interactions: Deforestation size influences rainfall. **Nature Climate Change**, 7(3):175-176, 2017. DOI: 10.1038/nclimate3238

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

COUTO, E., KLINGER, P., JACOMINE, T., NUNES DA CUNHA, C., & VECHIATTO, A. (2002). **Guia da excursão técnica da XIV RBMCSA**. Cuiaba-MT, Brazil: Editora UFMT.

CURADO, L. F. A.; DE SOUZA NOGUEIRA, J.; SANCHES, L.; RODRIGUES, T. R.; DE ALMEIDA LOBO, F.; BÍUDES, M. S. Inter Seasonality of the Energy Fluxes in Brazilian Savana, Mato Grosso, Brazil. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 4, n. 2, p. 219-230, 2014.

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.

DALMAGRO, H. J. *et al.* Radiative forcing of methane fluxes offsets net carbon dioxide uptake for a tropical flooded forest. 2019. **Global Change Biology**, Volume 25, Issue 6, pages 1967-1981.

DE ARRUDA, P. H. Z. **Dinâmica das trocas de massa e energia em região de cerrado na baixada cuiabana**. 2014. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

DUARTE, L. G. *et al.* Dinâmica dos fluxos de calor latente, calor sensível e fluxo de calor no solo no Pantanal Mato-Grossense. **Anais do 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal: Jardim/MS**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 431-440, 2018.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Boletim Agrometeorológico 3**: 1986-1996 (Fazenda Nhimirim). Corumbá: Embrapa/CPAP, 1997.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. 1. ed. Vol. 2. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Contribuições para a Educação Ambiental no Pantanal**. Corumbá-MS: Embrapa Pantanal, 2005.

FALGE, E. *et al.* Gap filling strategies for long term energy flux data sets. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 107, n. 1, p. 71-77, 2001.

FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). **Pesquisadores descrevem trajetória do “rio de fumaça” que escureceu São Paulo**. 2019. Disponível em:

< <http://agencia.fapesp.br/pesquisadores-descrevem-trajetoria-do-rio-de-fumaca-que-escureceu-sao-paulo/31280/>>. Acesso em: 24/06/2020.

FEARNSIDE, P. M. **Rios voadores e a água de São Paulo 1: A questão levantada**. 2015. Disponível em: < <https://amazoniareal.com.br/rios-voadores-e-a-agua-de-sao-paulo-1-a-questao-levantada/>>. Acesso em: 25/05/2020.

FINNIGAN, J. J.; CLEMENT, R.; MALHI, Y.; LEUNING, R.; CLEUGH, H. A. A Re-Evaluation of Long-Term Flux Measurement Techniques Part I: Averaging na Coordinate Rotation. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 107, n. 1, p. 1-48, 2003.

GALFORD, G. L. *et al.*, 2011. Historical carbon emissions and uptake from the agricultural frontier of the Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, 21(3), 2011, pp. 750-763.

GARRETT, R. D., LAMBIN, E. F., NAYLOR, R. L., 2012. Land institutions and supply chain configurations as determinants of soybean planted area and yields in Brazil. **Land Use Policy** 31, 358–396. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.08.002>. Acesso em : 20/08/2020.

GASH, J.H.C. *et al.*, 1996. **Amazonian Deforestation and Climate**, 1st ed. John Wiley & Sons, West Sussex.

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

GIRARD, P., FANTIN-CRUZ, I., DE OLIVEIRA, S. M. L., & HAMILTON, S. K. (2010). Small-scale spatial variation of inundation dynamics in a floodplain of the Pantanal (Brazil). **Hydrobiologia**, 638, 223–233. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-009-0046-9>. Acesso em: 14/08/2020.

GIRARDI, E. P.; ROSSETTO, O. C. Análise da pecuária no pantanal mato-grossense. **Revista Geográfica De América Central**, 2(47E). Disponível em: <<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2364/2260>>. Acesso em: 25/06/2020.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data Mining: concepts and techniques**. 3ª ed. Massachusetts: Morgan Kaufmann (Elsevier), 2011.

HOUGHTON R. A.; WOODWELL, G. M. Global climatic change, **Scientific American**, vol. 260; n° 4, April 1989.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Biomass Continentais do Brasil**. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/images/pdf/vamoscontar/texto_biomass.pdf>. Acesso em: 13/05/2020.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Mapa de Desmatamento PRODES**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates>. Acesso em: 19/01/2023.

IPAM. **Amazônia em Chamas**. Nota técnica do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. 2019. Disponível em: https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2019/08/NT-Fogo-Amazo%CC%82nia-2019-1_2.pdf. Acesso em: 23/06/2020.

ISPN (Instituto Sociedade População e Natureza). **Berço das Águas**. Disponível em: <<https://ispn.org.br/biomass/cerrado/berco-das-aguas/>>. Acesso em: 15/06/2020.

LAURANCE, W.F., ALBERNAZ, A.K.M., SCHROTH, G., FEARNSIDE, P.M., BERGEN, S., VENTICINQUE, E.M., COSTA, C., 2002. Predictors of deforestation in the brazilian amazon. **J. Biogeogr.** 29, 737–748. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00721.x>. Acesso em: 05/02/2021.

LEE, X. On micrometeorological observations of surface-air exchange over tall vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 91, p. 39–49, 1998.

LEUNING, R. Measurements of Trace Gas Fluxes in the Atmosphere Using Eddy Covariance: WPL Corrections Revisited. In: Lee, X., Massman, W., *et al* (Ed.). **Handbook of Micrometeorology**: Springer Netherlands, 2005. v.29, p.119-132. (Atmospheric and Oceanographic Sciences Library).

LICOR BIOSCIENCES. Eddy Covariance Method: for scientific, industrial, agricultural and regulatory applications. Lincoln (USA), Nebraska: **LICOR Biosciences**, 2013. ISBN 978-0-615-76827-4.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. da. Estimativa da Contribuição Hídrica Superficial do Cerrado para as grandes regiões hidrográficas brasileiras. **In Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2007. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/97cb080def742a5ce7b0bb4d732f133d_aa9ee512cb2101a5d43ae657cbbfba41.pdf>. Acesso em: 23/06/2020.

LONGO, M. *et al*. Impacts of Degradation on Water, Energy, and Carbon Cycling of the Amazon Tropical Forests. **JGR Biogeosciences**, Volume 125, Issue 8, 2020.

MACHADO, N.G.; BIUDES, M.S.; ANGELINI, L.P.; MÜTZENBERG, D.M.S.; NASSARDEN, D.C.S.; BILIO, R.S.; SILVA, T.J.A.; NEVES, G.A.R.; ARRUDA, P.H.Z.; NOGUEIRA, J.S. Sazonalidade do balanço de energia e evapotranspiração em área arbustiva alagável no Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 82-91, 2016.

MAKARIEVA A.M., GORSHKOV V.G., SHEIL D., NOBRE A.D., BUNYARD P., LI B.-L. (2014) Why does air passage over forest yield more rain? Examining the coupling between rainfall, pressure, and atmospheric moisture content. **Journal of Hydrometeorology**, 15, 411-426.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2019**. Disponível em: < <https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/Relatorio-Anual-do-Desmatamento-no-Brasil-2019.pdf>>. Acesso em: 26/05/2020.

MARCONDES, D. **A água queima na Amazônia**. 2019. Disponível em: < <https://envolverde.cartacapital.com.br/a-agua-queima-na-amazonia/>>. Acesso em: 25/05/2020.

MARCUZZO, F. F. N.; FARIA, T. G.; CARDOSO, M. R. D. **Chuvas no cerrado mato-grossense: análise histórica e tendência futura**. 2010. RIGeo (Repositório Institucional de Geociências-CPRM). Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/1058>. Acesso em: 22/05/2020.

MARCUZZO, F.F.N.; MELO, D.C.R. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, v. 16, n. 4, p. 157-167, 2011.

MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações). **Estimativa de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal para 2021 é de 13.235 km²**. Nota Técnica. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/divulgacao-de-dados-prodes.pdf>>. Acesso em: 19/01/2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia Científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MALHI Y, PEGORARO E, NOBRE AD, PEREIRA MGP, GRACE J, CULF AD, CLEMENT R (2002) The water and energy dynamics of a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research Atmospheres** 107(D20):8061. doi:10.1029/2001JD000623

MEYERS, T.P.; HALL, M.E.; LINDBERG, S.E.; KIM, K. Use of the Modified Bowen-Ratio Technique to Measure Fluxes of Trace Gases. **Atmospheric Environment**, v.30, n.19, p.3321-3329, 1996.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Pantanal**. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/biomas/pantanal>>. Acesso em: 24/05/2020.

NEPSTAD, D.C.; MOREIRA, A.G.; ALENCAR, A.A. **Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia**. Programa Piloto para a Prevenção das Florestas Tropicais do Brasil. Brasília, 1999.

NIMER, E. 1989. Clima. In: IBGE. 1989. Geografia do Brasil – Região Centro-Oeste. Rio de Janeiro, IBGE. v. 1, p. 23-34.

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica**. 1. ed. São José dos Campos: ARA: CCST-INPE: INPA, 2014. ISBN: 978-85-17-00072-0.

PACHECO, Maria Raquel Pereira dos Santos; HELENE, Maria Elisa Marcondes. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO_2 . **Estud. av.**, São Paulo, v. 4, n. 9, p. 204-220, ago. 1990. Disponível em: <
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141990000200010>. Acesso em: 27/05/2020, doi: 10.1590/S0103-40141990000200010.

PEREIRA, O. A. *et al.* Determinação do fluxo de CO_2 no norte do pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, vol. 28, n.3, 341-351, 2013.

POTT, A., & POTT, V. J. (1994). **Plantas do pantanal**, Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, Serviço de Produção de Informação Corumbá (pp 320). Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brazil: EMBRAPA-CPAP

Prado, M. J. D. (2015). Intercâmbio gasoso e relações hídricas de duas espécies de Combretum no Pantanal Mato-Grossense. **Masters thesis** (p. 56 pp.). Federal University of Mato Grosso.

PRODES. **Programa de Cálculo do Desmatamento da Amazônia**. Disponível em: <
http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates>. Acesso em: 13/05/2020.

RADAMBRASIL. **Levantamentos dos Recursos Naturais** Rio de Janeiro, Brazil: Ministério das Minas de Energia, 1982.

REICHSTEIN, M. *et al.* On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. **Global Change Biology**, v. 11, n. 9, p. 1424-1439, 2005.

RIOS VOADORES. **Os rios voadores, a Amazônia e o clima brasileiro**. 2010. Caderno do professor. São Paulo: Horizonte. Disponível em: <http://riosvoadores.com.br/wp-content/uploads/sites/5/2015/04/Caderno-Professor-Rios-Voadores-2015-INTERNETppp.pdf>. Acesso em: 25/05/2020.

ROCHA, H.R. D.A.; MANZI, A.O.; CABRAL, O.M.; MILLER, S.D.; COUPE, N.R.; SALESKA, S.R.; WOFSY, S.C.; BORMA, L.S.; VOURLITIS, G.L.; NOGUEIRA, J.S.; ARTAXO NETTO, P.E.; CARDOSO, F.L.; NOBRE, A.D.; KRUIJT, B.; FREITAS, H.C.; VON RANDOW, C.; MAIA, J.F. (2009) Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savana. **Brazil. Journal of Geophysical Research**, 114: G00B12–G00B12.

RUPPENTHAL, E. L. **5 de setembro**: a Amazônia e o sul do Brasil. 2020. Disponível em: <https://sul21.com.br/opiniaio/2020/09/5-de-setembro-a-amazonia-e-o-sul-do-brasil-por-eduardo-luis-ruppenthal/>. Acesso em: 20/11/2022.

SANCHES, L. *et al.* Seasonal Patterns of Evapotranspiration for a *Vochysia divergens* Forest in the Brazilian Pantanal. 2011. **Wetlands**, Springer, 31, pages 1215-1225

SANTOS, S., DA CUNHA, C. N., TOMÁS, W., & DE ABREU, U., & ARIEIRA, J. (2006). **Plantas invasoras no pantanal**: como entender o problema e soluções de manejo por meio de diagnóstico participativo. Embrapa Pantanal-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E).

SANTOS, R. B.; DE SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; DE ALMEIDA, F. T.; ARANTES, K. R.; DE SIQUEIRA, J. L. Planejamento da pulverização de fungicidas em função das variáveis meteorológicas na região de Sinop – MT. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.6, n.1, p.72-88, jan./abr. 2013.

SCHMIDT, I. B., ELOY, L., 2020. Fire regime in the Brazilian Savana: Recent changes, policy and management. **Elsevier**. Flora 268 (2020) 151613.

SILVA, M. P. da *et al.* Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, vol. 23, n.2, 2000.

SILVA, J. dos S. V. da; ABDON, M. de M.; MORAES, J. A. de. Desmatamento na Bacia do alto Paraguai no Brasil. In: 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2010, Cáceres/MT. **Anais [...]**. Cáceres: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2010. p. 458-467.

SORIANO, B. M. A. Caracterização climática da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS. In: DANTAS, M.; CATTO, J. B.; RESENDE, E. K. (Coord.). In: **Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do pantanal**, 2., Corumbá, 1996. Anais... Corumbá: Embrapa Pantanal, 1999. p. 151-158.

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.

SOUZA, K. C. G. de. **Modelo de simulação para análise da viabilidade de geração de energia a partir da utilização de biodigestores**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2010.

SOUZA, A. P. DE; MOTA, L. L. DA; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T. DE; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013.

SPRACKLEN, D.V., ARNOLD, S.R., TAYLOR, C.M., 2012. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature** 489, 282–5.

STRASSBURG, B.B., BROOKS, T., FELTRAN-BARBIERI, R., IRIBARREM, A., CROUZEILLES, R., LOYOLA, R., LATAWIEC, A.E., OLIVEIRA FILHO, F.J., SCARAMUZZA, CD.M., SCARANO, F.R., 2017. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nat. Ecol. Evol.** 1, 0099.

TARIFA, J. R. 1984. Solos do Pantanal Mato-Grossense. In **Anais do 1º Simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal**. EMBRAPA-CPAP-UFMS, 265p. (EMBRAPA-CPAP, Documentos, 5).

TERRA, T. N.; SILVA, J. dos S. V. da. Cenário de desmatamento da Bacia do Alto Paraguai (BAP) em 2022 e 2050. In: 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2012, Bonito/MS. **Anais [...]**. Bonito: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2012. p. 741-749.

TEICHRIEB, C. A. **Trocas de carbono atmosférico sobre dois diferentes sistemas de plantio de milho no sul do Brasil**. 2012. Tese (Doutorado em Física) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

THE MATHWORKS. **Curve Fitting Toolbox**: for use with Matlab. User's guide. Version 1. Natick/Massachusetts: The MathWorks, Inc., 2004.

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

VOURLITIS G.L.; DE NOGUEIRA J.S.; DE LOBO F.A.; SENDALL K.M.; DE PAULO S.R.; DIAS C.A.A.; PINTO-JÚNIOR O.B.; DE ANDRADE N.L.R. (2008) Energy balance and canopy conductance of a tropical semi-deciduous forest of the southern Amazon Basin. **Water Resources Research** 44:W03412. doi:10.1029/2006WR005526

VOURLITIS, G. L.; F. DE ALMEIDA LOBO; P. ZEILHOFER; J. DE SOUZA NOGUEIRA (2011), Temporal patterns of net CO₂ exchange for a tropical semideciduous forest of the southern Amazon Basin, **J. Geophys. Res.**, 116, G03029, doi:10.1029/2010JG001524.

VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. D.; LAWRENCE, S.; DE LUCENA, I. C.; PINTO, O. B.; DALMAGRO, H. J.; EUGENIA, C.; ORTIZ, R.; NOGUEIRA, J. D. Variations in Stand Structure and Diversity along a Soil Fertility Gradient in a Brazilian Savanna (Cerrado) in Southern Mato Grosso. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n.4, p. 1370-1379, 2013.

VOURLITIS, G.; DALMAGRO, H.; ARRUDA, P.; LATHUILLIERE, M. J.; PINTO JR, O. B.; LOBO, F. D. A.; JOHNSON, M. S. (2015). Ecosystem-scale CH₄ and CO₂ fluxes in a seasonally flooded scrub forest of the Brazilian Pantanal. In **AGU Fall Meeting Abstracts**. San Francisco.

VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. A.; PINTO JR, O. B.; DALMAGRO, H. J.; ARRUDA, P. H. Z.; NOGUEIRA, J. S. (2015). Variations in aboveground vegetation structure along a nutrient availability gradient in the Brazilian Pantanal. **Plant and Soil**, 389, 307–321. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2364-6>.

ZEMP, D. C. *et al.* (2014). On the importance of cascading moisture recycling in South America. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 14, 13359. doi:10.5194/acp-14-13337-2014.