

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

**IMPACTO DA MUDANÇA DE COBERTURA DO SOLO NA
DINÂMICA DA GPP, ET E WUE UTILIZANDO PRODUTOS
DERIVADOS DO SENSOR MODIS EM MATO GROSSO.**

VAGNER MARQUES PAVÃO

MARCELO SACARDI BIUDES
Orientador

NADJA GOMES MACHADO
Coorientadora

Cuiabá, MT
Novembro/2021

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

**IMPACTO DA MUDANÇA DE COBERTURA DO
SOLO NA DINÂMICA DA GPP, ET E WUE
UTILIZANDO PRODUTOS DERIVADOS DO SENSOR
MODIS EM MATO GROSSO.**

VAGNER MARQUES PAVÃO

*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.*

MARCELO SACARDI BIUDES
Orientador

NADJA GOMES MACHADO
Coorientadora

Cuiabá, MT
Novembro/2021

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P337i Pavão, Vagner Marques.
IMPACTO DA MUDANÇA DE COBERTURA DO SOLO NA
DINÂMICA DA GPP, ET E WUE UTILIZANDO PRODUTOS
DERIVADOS DO SENSOR MODIS EM MATO GROSSO. /
Vagner Marques Pavão. -- 2021
97 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Marcelo Sacardi Biudes.
Co-orientadora: Nadja Gomes Machado.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física
Ambiental, Cuiabá, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Uso do solo. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Clima. I. Título.

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

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

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

TÍTULO: IMPACTO DA MUDANÇA DE COBERTURA DO SOLO NA DINÂMICA DA GPP, ET E WUE UTILIZANDO PRODUTOS DERIVADOS DO SENSOR MODIS EM MATO GROSSO

AUTOR: DOUTORANDO VAGNER MARQUES PAVÃO

Tese defendida e aprovada em **03 de novembro de 2021**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes – Orientador - Instituto de Física – UFMT
2. Profa. Dra. Nadja Gomes Machado – Coorientadora - Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT
3. Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Junior - Examinador Interno – Universidade de Cuiabá – UNIC
4. Prof. Dr. Anderson Luis Ruhoff – Examinador Externo – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH)/UFRGS
5. Prof. Dr. Carlos Alexandre Santos Querino - Examinador Externo - Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) – UFAM/Humaitá

Cuiabá-MT, 03/11/2021.



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO, Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 05/11/2021, às 14:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 05/11/2021, às 14:54, conforme horário oficial de Brasília, com



fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDERSON RUHOFF, Usuário Externo**, em 05/11/2021, às 16:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Oswaldo Borges Pinto Junior, Usuário Externo**, em 05/11/2021, às 17:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Alexandre Santos Querino, Usuário Externo**, em 09/11/2021, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **NADJA GOMES MACHADO, Usuário Externo**, em 11/11/2021, às 16:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



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 **4127715** e o código CRC **AD26FA18**.

DEDICATÓRIA

A Deus Pai e a Jesus Cristo, seu Filho, pela
Graça e Misericórdia concedida a mim e a
minha família.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa Larissa Leite Pavão pela paciência, amor e companheirismo, ingredientes fundamentais para o bom andamento e conclusão deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes pela orientação, compartilhamento do conhecimento e disponibilidade durante todo o período de trabalho;

A Prof.^a Dra. Nadja Gomes Machado pelo suporte e sugestões que muito contribuíram para realização e aprimoramento deste trabalho;

Aos meus amigos Professores Dr. Carlos Alexandre Santos Querino e Dra. Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino pela orientação, companheirismo e amizade desde os tempos de graduação até esta etapa tão significativa da minha vida.

A toda a minha família, em especial, meus sogros Valdecir Tadeu Leite e Vilma de Oliveira Leite, pela ajuda e suporte incondicional em cada momento de minha trajetória acadêmica;

A Igreja Presbiteriana do Tijucal que acolheu a mim e minha família com ternos afetos de amor, bondade e misericórdia, durante todo o período em que residi em Cuiabá;

Ao casal Lourenço Loyola Ribeiro Martins e Eliane Batista De Moraes pela compreensão, apoio e torcida ofertada a mim e a minha família desde 2017 até ao dia de hoje.

Aos Professores Drs. Sérgio Roberto de Paulo, José de Souza Nogueira (*in memoriam*) e Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pelo grande trabalho feito para a realização deste Programa de Pós-Graduação;

A todos os professores e técnicos que integram o Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso;

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste momento;

Agradeço à CAPES pelo auxílio financeiro na forma de bolsa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SÍMBOLOS.....	XII
RESUMO.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 DINÂMICA DA COBERTURA DO SOLO EM MATO GROSSO.....	4
2.2 IMPACTOS DA MUDANÇA DE COBERTURA DO SOLO.....	6
2.2.1 ET, GPP e WUE COMO PARÂMETRO PARA ANÁLISE DOS EFEITOS DE MUDANÇA DE COBERTURA.....	8
2.3 PRODUTOS MOD16A2 E MOD17A2.....	9
2.4 PRODUTOS DE COBERTURA DA TERRA MODIS E IBGE.....	10
2.5 ÍNDICES DE ACURÁCIA PARA VALIDAÇÃO DE MAPAS DE COBERTURA DA TERRA.....	11
3 METODOLOGIA.....	13
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	14
3.2 MEDIDAS METEOROLÓGICAS.....	16
3.3 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR BOWEN.....	17
3.4 PRODUTOS DE SATÉLITE.....	18
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	20

3.5.1 VALIDAÇÃO DO PRODUTO MCD12Q1 E CUT-IBGE.....	20
3.5.2 VALIDAÇÃO DO PRODUTO MOD16A2.....	22
3.5.3 ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA ET, GPP E WUE.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO.....	25
4.1.1 VALIDAÇÃO DO PRODUTO MCD12Q1 E CUT-IBGE.....	25
4.1.2 DINÂMICA ESPACIAL DOS PRODUTOS MCD12Q1 E CUT-IBGE	29
4.1.3 MUDANÇA NAS CLASSES DOS PRODUTOS MCD12Q1 E CUT- IBGE.....	30
4.2 ANÁLISE DO PRODUTO DO MOD16A2.....	34
4.2.1 DINÂMICA ESPACIAL E SAZONAL DA ET OBTIDA PELO MÉTODO DE BOWEN E ESTIMADA PELO PRODUTO MOD16A2.....	34
4.2.2 VALIDAÇÃO DO PRODUTO MOD16A2.....	36
4.3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS BIOFÍSICAS.....	38
4.3.1 DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS TROCAS DE ENERGIA E MASSA EM MATO NO GROSSO NO ANO DE 2016.....	38
4.3.2 EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA ENTRE OS ANOS 2001 E 2016 NAS VARIÁVEIS BIOFÍSICAS.....	45
4.4 DISCUSSÃO.....	47
4.4.1 COBERTURA DO SOLO.....	47
4.4.2 PRODUTO MOD16A2.....	50
4.4.3 VARIÁVEIS BIOFÍSICAS.....	54
5 CONCLUSÃO.....	58
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
APÊNDICE.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma com etapas dos processos realizados para análise de cobertura da terra, análise do produto de Evapotranspiração MOD16A2 e análise das variáveis biofísicas realizadas para as áreas de floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA) e Área Agrícola (AA) em Mato Grosso.....13

Figura 2: a) Clima do Mato Grosso e distribuição espacial dos biomas Floresta Amazônica, Cerrado e Pantanal, bem como das torres de fluxo em uma floresta tropical de transição Amazônia-Cerrado (SIN), uma área de Cerrado (FMI) e áreas sazonalmente alagadas de floresta monodominante de Cambará (CAM) e Arbustos (BPE) no Pantanal. b) Divisões de Mato Grosso conforme Mesorregiões (IBGE, 1990) e tipos de cobertura do solo em Mato Grosso, Brasil, no ano de 2016.....16

Figura 3: Cobertura da terra e distribuição das classes Floresta, Cerrado, Pastagem e Área Agrícola entre os anos 2000 e 2016 obtida a partir do produto CUT – IBGE em Mato Grosso, Brasil. A coloração azul indica regiões que as respectivas classes de cobertura do solo estavam presentes no ano de 2000. A coloração vermelha indica regiões que as respectivas classes de cobertura do solo estavam presentes no ano de 2016. A coloração verde indica regiões em que as respectivas classes permaneceram entre 2000 e 2016, isto é, locais em que não houve mudança de classe entre os anos 2000 e 2016.....33

Figura 4: Padrão temporal da Evapotranspiração acumulada a cada 8 dias (mm 8-day-1) obtida do balanço de energia em torres de fluxo pelo método da razão de Bowen (ETMedida) e Evapotranspiração (mm 8-day-1) derivada do produto MOD16A2 (ETMODIS) obtidos nos sítios experimentais SIN, FMI, BPE e CAM. 35

Figura 5: Distribuição espacial do Total sazonal da Precipitação (Ppt; GPM-3IMERGM) e Média sazonal do Índice de Vegetação Melhorado (EVI; MOD13A1), Temperatura da Superfície (Ts; MOD11A2), Produtividade Primária

Bruta (GPP; MOD17A2H), Evapotranspiração (ET; MOD16A2) e Eficiência do Uso da Água (WUE) em Mato Grosso, Brasil em 2016.....39

Figura 6: Total mensal ($\pm$ IC 95%) da Precipitação (PPT) e Média mensal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%) do Índice de Vegetação Melhorado (EVI), Temperatura da Superfície (Ts), Produtividade Primária Bruta (GPP), Evapotranspiração (ET) e Eficiência do Uso da Água (WUE) obtidos na Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA) e Área Agrícola (AA) em Mato Grosso, Brasil em 2016.....42

Figura 7: Total mensal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%) da Precipitação (PPT) e Média mensal do Índice de Vegetação Melhorado (EVI), Temperatura da Superfície (Ts), Produtividade Primária Bruta (GPP), Evapotranspiração (ET) e Eficiência do Uso da Água (WUE) avaliados em um local com cobertura natural (2001) e após ser convertido para pastagem ou área agrícola (2016). Em que M.A=Média anual e T.A=Total anual. A linha azul representa a variável analisada em 2001 (floresta ou Cerrado) e a linha vermelha representa a variável analisada no mesmo local no ano de 2016 (pastagem ou área agrícola).....46

Figura 8: Gráfico de Contingência do produto de classificação da cobertura do solo MCD12Q1 das classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Mosaico Vegetação e Cultivo (MVC), Solo Exposto (SE) e Corpo D'água (CA) nos anos de 2001 (a) e 2016 (b) em Mato Grosso, Brasil.....79

Figura 9: Gráfico de Contingência do produto de Cobertura e Uso da Terra (CUT-IBGE) fornecido pelo IBGE das classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Silvicultura (SC) e Corpo D'água (CA) nos anos 2000 (a) e 2016 (b) em Mato Grosso, Brasil.....79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos equipamentos utilizados para medir saldo de radiação (R_n), temperatura do ar (T_a), umidade relativa do ar (UR) e fluxo de calor no solo (G) e a altura respectiva que cada sensor foi instalado em nos sítios SINOP (SIN), Fazenda Miranda (FMI), Baía das Pedras (BPE) e Cambarazal (CAM).....17

Tabela 2: Informações dos produtos de precipitação (Ppt), Índice de Vegetação Aprimorado (EVI), Temperatura da Superfície (LST), Produtividade Primária Bruta (GPP) e Evapotranspiração (ET).....19

Tabela 3: Classes de cobertura do solo dos produtos MCD12Q1 e CUT – IBGE obtidos em seu formato original e ajustado com novas nomenclaturas utilizadas para o estado de Mato Grosso em 2001 e 2016.....21

Tabela 4: Índices de desempenho geral (Kappa e Acurácia Geral - AG) e índice de desempenho por classe (Taxa de Classificação Correta - CC, Taxa de Classificação Incorreta - CI, Erro de Omissão - EO, Erro de Comissão - EC, Acurácia do Produtor - AP, Acurácia do Usuário - AU e Acurácia Média - AM aplicados na análise dos produtos MCD12Q1 e CUT – IBGE em Mato Grosso.. 22

Tabela 5: Classificação Correta (CC), Classificação Incorreta (CI), Erro de Omissão (EO), Erro de Comissão (EC), Acurácia do Produtor (AP), Acurácia do Usuário (AU), Acurácia Média (A. M), Índice Kappa e Acurácia Geral (Acur. Geral) obtidos do produto de classificação da cobertura do solo MCD12Q1 nos anos 2001 e 2016 em Mato Grosso, Brasil.....26

Tabela 6: Classificação Correta (CC), Classificação Incorreta (CI), Erro de Omissão (EO), Erro de Comissão (EC), Acurácia do Produtor (AP), Acurácia do Usuário (AU), Acurácia Média (A. M), Índice Kappa e Acurácia Geral (Acur. Geral) obtidos do produto de Cobertura e Uso da Terra disponibilizado pelo IBGE

(CUT-IBGE) nos anos 2000 e 2016 em Mato Grosso, Brasil. Onde (AM) é a média entre a Acurácia do Produtor (AP) e a Acurácia do Usuário (AU).....28

Tabela 7: Área em Quilômetros quadrados (km²) do produto MCD12Q1 e CUT-IBGE para as classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Mosaico Vegetação e Cultivo (MVC; presente apenas em MOD12Q1), Silvicultura (SC; presente apenas em CUT-IBGE), Solo Exposto (SE) e Corpo D'água (CA) em Mato Grosso nos anos de 2001 e 2016 para o produto MCD12Q1; 2000 e 2016 para o produto CUT-IBGE.....30

Tabela 8: Mudança de cobertura em Quilômetros quadrados (km²) das classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Mosaico Vegetação Cultivo (MVC) e Corpo d'água (CA) entre os anos de 2000 e 2016 para o produto MCD12Q1 em Mato Grosso, Brasil.....31

Tabela 9: Mudança de cobertura em Quilômetros quadrados (km²) das classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Silvicultura (SC) e Corpo D'água (CA) entre os anos de 2000 e 2016 para o produto CUT-IBGE em Mato Grosso, Brasil.....32

Tabela 10: Distribuição das áreas modificadas para as classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA) e Área Agrícola (AA) conforme as Mesorregiões de planejamento do estado de Mato Grosso até o ano de 2016, Brasil.....32

Tabela 11: Média anual e sazonal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%), Coeficiente de correlação de Pearson (r), Índice de concordância de Willmott (d), Erro Médio Absoluto (MAE; mm 8-day-1), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE; mm 8-day-1) e Erro Médio Percentual Absoluto (MAPE; %) obtidos entre a Evapotranspiração acumulada a cada 8 dias (mm 8-day-1) obtida do balanço de energia em torres de fluxo pelo método da razão de Bowen (ET_{Medida}) e Evapotranspiração (mm 8-day-1) derivada do produto MOD16A2 (ET_{MODIS}) nos

sítios experimentais SIN, FMI, BPE e CAM. Valores acompanhados de (*) indicam $p\text{-valor} < 0.05$, (**) $p\text{-valor} < 0.01$ e (***) $p\text{-valor} < 0.001$37

Tabela 12: Total sazonal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%) da Precipitação (Ppt; mm) e Média sazonal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%) do Índice de Vegetação Melhorado (EVI), Temperatura da Superfície (Ts; °C), Produtividade Primária Bruta (GPP; g C m⁻² 8 dia⁻¹), Evapotranspiração (ET; kg H₂O m⁻² 8 dia⁻¹) e Eficiência do Uso da Água (WUE; g C kg H₂O⁻¹) obtidos na Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA) e Área Agrícola (AA) em Mato Grosso, Brasil em 2016.....41

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SÍMBOLOS

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PRODES - Programa de Monitoramento de Desmatamento na Amazônica

CO² - Dióxido de carbono

O₂ - Oxigênio

PPCDAm - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal

PPCerrado - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado

PNMC - Política Nacional sobre Mudança do Clima

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MCD12Q1 - Produto MODIS do Tipo de Cobertura do Solo

MOD16A2 - produtos MODIS de evapotranspiração

MOD17A2H - produtos MODIS de produtividade primária pruta

CUT – IBGE - produto de cobertura do solo foi criado pelo IBGE

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ET - Evapotranspiração

GPP - Produtividade Primária Bruta

NPP - Produtividade Primária Líquida

°C - Grau Celsius

LAI - Índice de Área Foliar

WUE - Eficiência do Uso da Água

DPV - Déficit de Pressão de Vapor

UCs - Unidades de Conservação

Aw - Clima tropical com estação seca de Inverno

Am - Clima tropical úmido ou subúmido

PIN - Plano de Integração Nacional

NASA - Administração Nacional Aeronáutica e Espacial Americana

EOS - Sistema de Observação da Terra

μm - Micrômetro

mm - Milímetro

m - Metro

km - Quilometro

TIR - Infravermelho Termal

VI's - Índices de vegetação

UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso

BPE - Sítio experimental Baía das Pedras

FMI - Sítio experimental Fazenda Miranda

FEX - Sítio experimental Fazenda Experimental

SIN - Sítio experimental Sinop

RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

IGBP - International Geosphere -Biosphere Programme

AppEEARS - Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples

USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos

FL - Floresta

CE - Cerrado

PA - Pastagem

WA - Área Úmida

AA - Área Agrícola

AC - Área Construída

MVC - Mosaico Vegetação e Cultivo

SE - Solo Exposto

CA - Corpo D'água

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

PGI - Plataforma Geográfica Interativa

K - Teste de concordância Kappa

AG - Acurácia Geral

CC -Taxa de Classificação Correta

CI - Taxa de Classificação Incorreta

EO - Erro de Omissão

EC - Erro de Comissão

AP - Acurácia do Produtor

AU - Acurácia do Usuário

AM - Acurácia Média

FC - Fator de Correção

APA - Área da Classe após primeiro ajuste

ANA - Área da classe não ajustada

P_{APA} - proporção ocupada por cada classe após ajuste na área total ajustada

AAF - Área Ajustada Final

Rn - Saldo de Radiação

Ta - Temperatura do ar

UR - Umidade Relativa

G - Fluxo de calor no solo

ORNL - Oak Ridge National Laboratory

DAAC - Distributed Active Archive Center

ET_{MODIS} - Evapotranspiração do produto MOD16A2

ET_{Medida} - Evapotranspiração medida

PPT - Precipitação

GMAO - Global Modelling and Assimilation Office

MCD43A2/A3 - Produto MODIS albedo

FPAR - Fração da radiação fotossinteticamente ativa

BPLUT - Tabela de pesquisa de propriedade do bioma

LE - Fluxo de calor latente

ΔS - Armazenamento de calor no dossel e na biomassa

β - Razão de Bowen

Cp - Calor específico

ΔT - Diferença de temperatura

d - Concordância de Willmott

MAE - Erro Médio Absoluto

RMSE - Raiz do Erro Quadrático Médio

GPM_3IMERGM - Produto de precipitação

MOD13A1 V6 - Produto MODIS Índice de Vegetação Aprimorado

MOD11A2 V6 - Produto MODIS Temperatura da Superfície

LST - Temperatura da superfície terrestre

H₂O - Molécula de água

CAR - Cadastro Ambiental Rural

RESUMO

PAVÃO, V. M. IMPACTO DA MUDANÇA DE COBERTURA DO SOLO NA DINÂMICA DA GPP, ET E WUE UTILIZANDO PRODUTOS DERIVADOS DO SENSOR MODIS EM MATO GROSSO. Cuiabá, 2021, 97f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Apesar de ter importância ecológica o estado de Mato Grosso tem experimentado intensa mudança em sua cobertura do solo nas últimas décadas e os efeitos dessas mudanças em variáveis climáticas necessitam ser estudadas. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto da mudança de cobertura do solo na dinâmica de trocas de energia e massa, utilizando produtos derivados do sensor MODIS em Mato Grosso, Brasil. O estudo foi dividido em três etapas: i) Validação e análise dos produtos de cobertura da terra MCD12Q1 e CUT-IBGE; ii) Validação e análise do produto MODIS de Evapotranspiração MOD16A2; iii) Análise da dinâmica espaço-temporal de variáveis biofísicas em ambientes de Floresta, Cerrado, Pastagem e Agrícola em Mato Grosso. Na etapa i foram criados aleatoriamente 25 pontos de controle em cada classe para obtenção da matriz de confusão. A partir da matriz de confusão foram gerados 7 índices para avaliação de desempenho individual e 2 índices para análise de desempenho geral das classes avaliadas. Na etapa ii os dados de evapotranspiração MOD16A2 foram validados utilizando dados de Evapotranspiração calculados pelo método da Razão de Bowen obtidos em quatro sítios experimentais em Mato Grosso. Na etapa iii as médias anuais e sazonais das variáveis Precipitação, EVI, Ts, GPP, ET e WUE foram calculadas a partir dos valores extraídos de 100 pontos, em cada uma das coberturas, derivados da intersecção entre o produto MCD12Q1 e CUT-IBGE. O desempenho do produto CUT-IBGE foi superior ao MCD12Q1. A resolução espacial e a similaridade entre algumas fitofisionomias foram fatores limitantes na classificação da cobertura do solo em Mato Grosso. A perda de cobertura natural da Floresta e Cerrado entre 2000 e 2016 foram ocasionadas majoritariamente pelo aumento das áreas Agrícola e Pastagem, devido ao perfil agropecuário da região. O produto MOD16A2 mostrou ser uma importante alternativa nos estudos de Evapotranspiração em escala local e regional. Os resultados obtidos neste estudo demonstraram a boa capacidade do produto MOD16A2 em estimar a ET em ambientes de transição Floresta Amazônica-Cerrado, Cerrado e Pantanal. Os ambientes Cerrado, Pastagem e Área Agrícola possuem padrões de trocas de energia e massa semelhantes ao longo do ano. Isto sugere que o devido manejo de áreas de pastagem e agrícolas associada a preservação de áreas de Cerrado legalmente protegidas poderão coexistir permitindo atender a crescente demanda de alimentos no mundo. Por outro lado, a substituição de áreas de floresta por outras coberturas reduz o EVI, ET, GPP e WUE, modificando, portanto, significativamente as interações entre o sistema solo-planta-atmosfera nestes locais.

Palavras-chave: Uso do solo, Sensoriamento Remoto, Clima.

ABSTRACT

PAVÃO, V. M. **IMPACT OF LAND COVER CHANGE ON ENERGY AND MASS EXCHANGES IN MATO GROSSO, BRAZIL**, Cuiabá, 2021, 97f. Thesis (Doctorate in Environmental Physics), Institute of Physic, Federal University of Mato Grosso.

Despite having ecological importance, the state of Mato Grosso has experienced intense change in its land cover in recent decades and the effects of these changes on climatic variables need to be studied. Thus, the objective of this work was to evaluate the impact of land cover change on the dynamics of energy and mass exchanges, using products derived from the MODIS sensor in Mato Grosso, Brazil. The study was divided into three stages: i) Validation and analysis of land cover products MCD12Q1 and CUT-IBGE; ii) Validation and analysis of the MODIS Evapotranspiration product MOD16A2iii) Analysis of the spatiotemporal dynamics of biophysical variables in Forest, Cerrado, Pasture and Agricultural environments in Mato Grosso. In step i, 25 control points were randomly created in each class to obtain the confusion matrix. From the confusion matrix, 7 indexes were generated for individual performance evaluation and 2 indexes for general performance analysis of the evaluated classes. In step ii, the MOD16A2 evapotranspiration data were validated using Evapotranspiration data calculated by the Bowen Ratio method obtained at four experimental sites in Mato Grosso. In step iii, the annual and seasonal averages of the Precipitation, EVI, Ts, GPP, ET and WUE variables were calculated from values extracted from 100 points in each of the coverages, derived from the intersection between the product MCD12Q1 and CUT-IBGE. The performance of the CUT-IBGE product was superior to MCD12Q1. The spatial resolution and the similarity between some phytophysiognomies were limiting factors in the classification of land cover in Mato Grosso. The loss of natural cover of the Forest and Cerrado between 2000 and 2016 was mostly caused by the increase in Agricultural and Pasture areas, due to the agricultural profile of the region. The MOD16A2 product proved to be an important alternative in Evapotranspiration studies at a local and regional scale. The results obtained in this study demonstrated the good ability of the product MOD16A2 to estimate the ET in transitional environments Amazon Forest-Cerrado, Cerrado and Pantanal. The Cerrado, Pasture and Agricultural Area environments have similar patterns of energy and mass exchange throughout the year. This suggests that the proper management of pasture and agricultural areas associated with the preservation of legally protected Cerrado areas can coexist, allowing to meet the growing demand for food in the world. On the other hand, the replacement of forest areas by other covers reduces the EVI, ET, GPP and WUE, thus significantly modifying the interactions between the soil-plant-atmosphere system in these locations.

Key-word: Land use, Remote Sensing, Climate.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

Nas últimas décadas, o estado de Mato Grosso tem sofrido alterações em sua cobertura natural devido ao seu potencial agropecuário. Contudo, a substituição de coberturas naturais por áreas antropizadas podem reduzir a evapotranspiração (ET) local e a Produtividade Primária Bruta (GPP) (Cunha et al., 2015; Dias et al., 2015; Arantes et al., 2016; Morgan et al., 2019). Além dos efeitos individuais da mudança de cobertura sobre ET e GPP, o efeito combinado dessas variáveis podem alterar os padrões de uso da água sobre a área modificada.

Uma variável amplamente utilizada neste tipo de análise é a Eficiência do Uso da Água (WUE) definida como a razão entre GPP e ET. A WUE expressa o acoplamento entre os fluxos de carbono (GPP) e água (ET) no sistema solo-planta-atmosfera sendo positivamente correlacionada com a concentração de CO_2 na atmosfera, precipitação, Índice de Área Foliar e negativamente influenciada pelo Déficit de Pressão de Vapor (DPV) (Tian et al., 2010; Keenan et al., 2013; Xiao et al., 2013; Hatfield e Dold, 2019; Souza et al., 2019). Por outro lado, estudos realizados com cana-de-açúcar, observaram que a ET e WUE da cultura é fortemente influenciada pela disponibilidade de água no solo (Silva et al., 2013).

Neste sentido, existem 4 fatores de mudança no clima que afetarão o uso da água pelas plantas, que são: i) aumento na concentração do dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, ii) aumentos na temperatura, iii) maior variabilidade da precipitação e iv) umidade (Hatfield e Dold, 2019). Estudos realizados em diferentes coberturas do solo na Ásia constataram que, devido à variabilidade/mudança climática, a WUE em toda a área, diminuiu 3,6% durante o período de estudo e que, a pastagem, foi o bioma mais sensível a um clima seco, com uma diminuição de 16,2% em WUE na década de 1990.

Portanto, uma análise integrada da ET, GPP e WUE, em diferentes tipos de cobertura, podem auxiliar na compreensão de como diferentes ambientes irão reagir a condições de estresse hídrico devido a redução da precipitação e aumentos na

temperatura. Contudo, poucos são os estudos que avaliam de forma integrada os padrões destas variáveis em Mato Grosso.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os desafios do estado de Mato Grosso em compatibilizar sua expansão econômica com a conservação ambiental são atuais e relevantes. Os impactos causados pela mudança de cobertura natural por áreas antropizadas necessitam ser estudados para melhor compreensão e, conseqüentemente, o fornecimento de dados seguros e úteis às tomadas de decisões quanto ao manejo de áreas naturais em território brasileiro.

Neste contexto, a Evapotranspiração (ET), Produtividade Primária Bruta (GPP) e Eficiência do Uso da Água (WUE) tem sido, atualmente, consideradas variáveis chaves na compreensão dos efeitos da mudança de cobertura de áreas naturais sobre as trocas de energia e massa entre superfície e atmosfera (Arantes et al., 2016). Isto porque diferentes tipos de cobertura do solo apresentam diferentes padrões de ET, GPP e WUE (Tian et al., 2010, Xiao et al., 2013).

Contudo, apesar da importância destas variáveis na compreensão das interações no sistema solo-planta-atmosfera, a estimativa *in loco* da ET e GPP, e, posterior cálculo da WUE, por métodos convencionais, é complexa, onerosa e com limitações espaciais (Souza et al., 2014, Amatya et al., 2016, Zheng et al., 2018, Gomis-Cebolla et al., 2019). Além disso, a extrapolação em escala regional de medidas locais é limitada devido à representatividade dos dados locais e o custo de instalação e manutenção dos diversos sítios experimentais (Amatya et al., 2016, Zheng et al., 2018, Gomis-Cebolla et al., 2019).

Portanto, produtos derivados do sensoriamento remoto têm sido utilizados em estudos realizados no estado de Mato Grosso, com intuito de fornecer informações úteis sobre os efeitos da substituição da cobertura natural do solo por áreas de pastagem e agrícolas, na dinâmica das trocas de energia e massa local (Fausto et al., 2016, Angelini et al., 2017).

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto da mudança de cobertura do solo na dinâmica de GPP, ET e WUE utilizando produtos derivados do sensor MODIS em Mato Grosso.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Validar os produtos de cobertura do solo MCD12Q1 do sensor MODIS e do CUT-IBGE para Mato Grosso;
- Avaliar a dinâmica espacial das classes floresta, Cerrado, pastagem e área agrícola em Mato Grosso para os anos 2000 e 2016;
- Validar o produto de evapotranspiração MOD16A2 versão 6 do sensor MODIS para Mato Grosso;
- Avaliar o padrão anual e sazonal da GPP (MOD17A2H), ET (MOD16A2) e WUE em áreas de floresta, Cerrado, pastagem e área Agrícola no estado de Mato Grosso;
- Quantificar o impacto da mudança da cobertura do solo na dinâmica de GPP, ET e WUE em Mato Grosso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DINÂMICA DA COBERTURA DO SOLO EM MATO GROSSO

Atualmente Mato Grosso é o maior produtor e exportador do ramo do agronegócio no Brasil, tendo como principal produto exportado o complexo de soja (soja crua, óleo de soja e farinhas). A área plantada de soja em Mato Grosso passou de 1.5 milhões de hectares em 1990 para 10 milhões em 2021. Na safra 2020/2021 Mato Grosso foi responsável por aproximadamente 27% de toda a produção de soja no Brasil (MAPA, 2021). O principal mercado internacional do complexo de soja de Mato Grosso é a Europa e a China. Apenas a china importou em 2020 cerca de 41% de toda a soja exportada em mato grosso. Neste sentido, estudos tem apontado a China como um dos principais agentes estimuladores da intensificação e extensificação da atividade agrícola em Mato Grosso (Lathuilliere et al., 2014).

Além da agricultura, outro ramo de significativa relevância econômica e ambiental em Mato Grosso é a pecuária. Mato Grosso possui o maior rebanho bovino do Brasil com aproximadamente 32 milhões de cabeça de gado equivalente a 15% de todo o rebanho brasileiro (IBGE, 2021). A atividade pecuária intensiva em Mato Grosso foi uma das primeiras atividades a serem exploradas no estado uma vez que a agricultura era considerada inviável devido a baixa fertilidade do solo da região. Assim, devido ao seu perfil agropecuário Mato Grosso foi um dos estados com maior área desmatada nas últimas décadas, com pico no ano de 2004 (~11.800 km²) e acentuada redução desde então. No entanto, a região possui grande importância ecológica uma vez que três dos seis biomas brasileiros estão presente em seu território, o que confere a este estado características ambientais peculiares.

Um dos biomas afetados nesta região é o Cerrado o qual ocupava originalmente cerca de 24% do território brasileiro, contudo nas últimas décadas já perdeu mais de 50% de sua cobertura natural (Beuchle et al., 2015). Outra área afetada pelo desmatamento é a Floresta Amazônica localizada ao norte do estado. De acordo com o Programa de Monitoramento de Desmatamento na Amazônica (PRODES) de 2008 a 2020 foram desmatados aproximadamente 16.956,18 km² da

floresta amazônica presente no estado (PRODES, 2021). O Cerrado, juntamente com a Floresta Amazônica (localizada ao norte do estado), desempenham importante papel ecológico em Mato Grosso, e fornecem, juntos, parte das características fitofisionômicas presentes no bioma Pantanal (Pott e Pott, 2004; Ferreira-Júnior et al., 2016). De forma semelhante ao Cerrado e a Floresta Amazônica, o Pantanal tem experimentado alterações em sua cobertura natural. Nestas regiões, a cobertura natural tem sido substituída por pastagem e culturas agrícolas (Klink e Machado, 2005; La Rovere et al., 2011; Redo et al., 2013, Grecchi et al., 2014).

Políticas públicas de redução do desmatamento irregular adotadas pelo Brasil nos últimos anos tiveram resultados positivos, em especial na Amazônia Legal (Arima et al., 2014; Gollnowa et al., 2018). Uma das ações políticas mais eficaz foi a criação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) em 2004 e o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) em 2009 (Mello e Artaxo, 2017; MMA, 2018). Além dos avanços nas políticas públicas e na legislação brasileira com a criação de novas leis, a redução do desmatamento ao longo desses anos também pode ser atribuída a interação entre a sociedade civil organizada e órgãos do governo (Arima et al., 2014). Contudo, as metas de redução do desmatamento em território brasileiro previsto na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) permanecem e demandam constantes aprimoramentos.

Em termos operacionais, um dos importantes avanços do Brasil foi o início do monitoramento do desmatamento em 1988 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) (Kintisch, 2007; Piontekowski et al., 2014). Este programa monitora o desmatamento por corte raso na Amazônia Legal, e produz taxas anuais de desmatamento na região utilizando imagens LANDSAT-5/TM (imagens até 2013), LANDSAT 8/OLI, CBERS 4 e SENTINEL-2 (INPE, 2008a, 2008b, 2019).

Outra importante ação de fiscalização e combate ao desmatamento ilegal foi a estruturação do sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) em 2004, o qual mapeia mensalmente as áreas de corte raso e de processo progressivo de

desmatamento por degradação florestal (INPE, 2019). O DETER operou até 2017 com base nos dados do espectroradiômetro MODIS a bordo satélite Terra, mas atualmente, o DETER tem utilizado imagens dos sensores WFI, do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS-4) e AWiFS, do satélite Indian Remote Sensing Satellite (IRS) devido às mudanças nos padrões das áreas desmatadas na Amazônia (polígonos de desmatamentos inferiores a 25 ha) (Diniz et al., 2015; INPE, 2019).

2.2 IMPACTOS DA MUDANÇA DE COBERTURA DO SOLO

A substituição da cobertura natural por áreas de pastagem ou cultivadas, altera as características aerodinâmicas e radiativas da superfície e modifica o padrão das trocas de energia e massa na interface superfície-atmosfera (Biudes et al., 2009; 2012; 2015; Pavão et al., 2016). Variáveis como albedo, temperatura e saldo de radiação (R_n) são diretamente afetados por essas mudanças, principalmente quanto efetuadas em larga escala (Pavão et al., 2014; 2015; 2016).

Quanto maior a biomassa e vigor da vegetação, menor albedo e temperatura da superfície, e maior é o efeito termohidroregulador da superfície. Dessa forma, a energia disponível é usada prioritariamente para o processo de evapotranspiração, principalmente em áreas com grande disponibilidade hídrica como é o caso da Floresta Amazônica (Silva e de Paula, 2009; Biudes et al., 2009; 2015).

Por outro lado, em áreas com baixa biomassa, como pastagem e áreas urbanas, o R_n é convertido prioritariamente em calor sensível, responsável pelo aquecimento do ar (Biudes et al., 2009; 2015; Santos et al., 2014; Fausto et al., 2016). Isto ocorre devido ao fato de que a redução do comprimento de rugosidade em áreas desmatadas é capaz de afetar o transporte turbulento de calor e vapor de água próximo à superfície (Eltahir e Bras, 1994). Além disso, o aumento do albedo e da temperatura da superfície reduz o R_n nas áreas desmatadas, resultando em uma menor disponibilidade de energia para evapotranspiração e processos convectivos nesses locais, reduzindo assim, a precipitação (Santos et al., 2014).

Em um cenário mais crítico, a substituição de áreas naturais, em especial regiões de floresta tropical, por pastagem e agricultura podem acarretar mudanças no regime de precipitação local e regional (Cunha et al., 2015, Perugini et al., 2017, Chem e Dirmeyer, 2017). Estudos realizados por Spracklen et al., 2012 utilizando dados de vegetação e precipitação derivados do sensoriamento remoto, combinados com padrões de transporte atmosférico simulados, demonstraram o importante papel da evapotranspiração em regiões de floresta tropical na manutenção e, até mesmo, no aumento da umidade presente em massas de ar que se deslocam sobre essas regiões. Zemp et al., 2014 analisaram os efeitos da evapotranspiração da floresta Amazônica sobre a reciclagem da umidade do ar e constataram que o efeito da reciclagem de umidade em cascata provocado pela evapotranspiração é responsável por cerca de 9 a 10% da precipitação da bacia amazônica e 17 a 18% da precipitação da bacia do Prata.

Além da alteração no regime de precipitação, estudos também tem demonstrado alterações nos padrões da temperatura superficial (Ts) devido a mudança de cobertura da terra. Loarie et al., 2011 observaram que a substituição do Cerrado por um mosaico de pastagem e agricultura aumentou a Ts em 1,55°C, contudo a subsequente conversão desta mesma área para cana-de-açúcar reduziu a Ts em 0.93 °C, gerando assim um aumento líquido na temperatura de 0.6 °C. Ivo et al., 2018 avaliaram o Índice de Área foliar e a Temperatura superficial (Ts) em coberturas de Cerrado, Pastagem, Cana-de-açúcar e Soja em Mato Grosso. Os autores encontraram padrão inverso ($r=-0.91$) entre o IAF e a Ts com maiores valores de Ts na soja e menores no Cerrado. Pavão et al., 2017 avaliaram o padrão espacial do Saldo de Radiação (Rn) em diferentes coberturas do solo no sul do Amazonas e encontraram que a substituição da Floresta por pastagem ou área urbana aumentou o albedo e a temperatura de brilho superficial e, conseqüentemente, reduziu o Rn superficial.

2.2.1 ET, GPP e WUE COMO PARÂMETRO PARA ANÁLISE DOS EFEITOS DE MUDANÇA DE COBERTURA

A Evapotranspiração (ET) e Produtividade Primária Bruta (GPP) tem sido consideradas variáveis chaves na compreensão dos efeitos da mudança de cobertura de áreas naturais sobre as trocas de energia e massa entre superfície e atmosfera (Arantes et al., 2016). A ET e GPP refletem diretamente as características da vegetação local, uma vez que as plantas assimilam CO₂ atmosférico por meio da fotossíntese e perdem água por meio da transpiração (Berry et al., 2010). Assim, diferentes tipos de cobertura do solo apresentam diferentes padrões de ET e GPP (Tian et al., 2010).

Em geral mudanças observadas em ET e GPP estão diretamente ligadas ao Índice de Área Foliar (LAI) e as condições de umidade e temperatura atmosférica, disponibilidade de água no solo, radiação solar incidente e disponibilidade de nutrientes (Biudes et al., 2014; Cunha et al., 2015; Baldocchi et al., 2018). Contudo, em ambientes como a Floresta Amazônica e regiões de transição Amazônia-Cerrado, a relação da ET e GPP com outras variáveis ambientais possuem interações mais complexas (Vourlitis et al., 2008, 2014; Biudes et al., 2014, 2015).

Outra variável importante na compreensão dos efeitos da mudança de cobertura do solo é a Eficiência do Uso da Água (WUE) definida como a razão entre GPP e ET. Neste sentido a WUE expressa o acoplamento entre os fluxos de carbono (GPP) e água (ET) no sistema solo-planta-atmosfera e pode indicar como diferentes ambientes irão reagir a condições de stress hídrico (aridez) devido a redução da precipitação (Tian et al., 2010, Hatfield e Dold, 2019).

Portanto, a WUE tem sido considerada uma variável fundamental na compreensão dos ciclos globais de energia, água e carbono (Beer et al., 2009; Tian et al., 2010; Liu et al., 2020; Yang et al., 2020). Estudos tem demonstrados que a WUE é positivamente correlacionada com o aumento concentração de CO₂ na atmosfera e aumento do LAI e negativamente influenciada pelo Déficit de Pressão de Vapor (DPV) (Keenan et al., 2013; Hatfield e Dold, 2019; Souza et al., 2019). Por outro lado, estudos com modelagem da ET e GPP realizados por Liu et al., 2020 constataram que em escala global, a variação da WUE é fortemente influenciada pela

umidade do solo e que a influência da ET e GPP sobre a WUE varia entre regiões úmidas e secas, com GPP dominando principalmente a variabilidade WUE em regiões úmidas e ET dominando em regiões secas.

2.3 PRODUTOS MOD16A2 E MOD17A2

Os produtos MODIS (terra e aqua) têm sido amplamente utilizados em pesquisas envolvendo análise de cobertura da terra (vuolo e atzberger, 2014; liang et al., 2015, Zhao et al., 2018) e trocas de energia e massa entre o sistema solo-planta-atmosfera (Tang et al., 2014, Yang et al., 2020). No Brasil Souza et al., 2014, Moreira et al., 2018 e Biudes et al., 2021 avaliaram o desempenho do produto de evapotranspiração (ET) MOD16A2 e Produtividade Primária Bruta (GPP) MOD17A2 em regiões de Floresta, Pastagem e Cerrado e constaram que de modo geral, ambos os produtos são capazes de representar o padrão de ET e GPP observado nas torres de fluxo.

A ET do produto MOD16A2 (ET_{MODIS}) é baseada na equação proposta Penman-Monteith (Monteith, 1965). O algoritmo MOD16 é executado diariamente, e a ET diária é a soma da ET diurna e noturna (Mu et al., 2011). De modo geral, a ET do produto MOD16A2 é a soma dos fluxos de calor latente de evaporação do solo, evaporação do dossel úmido e da transpiração da superfície do dossel seco. O processamento do produto MOD16 utiliza dois grupos de dados de entrada. O primeiro grupo de dados são derivados de Global Modelling and Assimilation Office (GMAO/MERRA) que fornecem dados reanálises meteorológicas diárias os quais incluem radiação solar, temperatura, pressão e umidade do ar, pressão de vapor atual noturna, temperatura noturna e radiação de ondas longas incidente e emitida (Mu et al., 2013; Running et al., 2019). O segundo grupo é composto de produtos derivados de sensoriamento remoto, os quais incluem o albedo (MCD43A2/A3), a fração da radiação fotossinteticamente ativa (FPAR)/índice de área foliar (LAI) (MOD15A2H) e cobertura da terra (MCDLCHKM).

Um dos principais fatores a ser considerado na estimativa do produto MOD16A2 é a tabela de pesquisa de propriedade do bioma (BPLUT). Esta tabela

consiste em constantes de parâmetros físicos e biofísicos utilizados no cálculo da ET que variam de acordo com o tipo de superfície classificada. A lógica utilizada no MOD16A2 supõe que os parâmetros fisiológicos específicos de cada bioma não variam para diferentes expressões de um determinado bioma (por exemplo, a Savana e suas diferentes variações fitofisionômicas no Brasil) nem em qualquer momento durante o ano (Running et al., 2019). O processo detalhado de formulação, calibração e validação da BPLUT pode ser consultado em Running et al. (2000), Heinsch et al. (2003), e Mu et al. (2011).

Já o produto MODIS da Produção Primária Bruta (MOD17A2) é projetado para fornecer medidas regulares do crescimento da vegetação terrestre com base na eficiência do uso da luz (LUE), usando dados de cobertura da terra (MCDLCHKM), fPAR/LAI(MOD15A2H) e dados de reanálises meteorológicas globais diárias fornecidos pelo GMAO/NASA.

2.4 PRODUTOS DE COBERTURA DA TERRA MODIS E IBGE

O Produto MODIS do Tipo de Cobertura do Solo (MCD12Q1) tem sido utilizado na análise e monitoramento da cobertura terrestre (Fanin e van der Werf, 2015; Sulla-Menashe et al., 2019). Os produtos de cobertura MODIS foram criados com o objetivo primário de facilitar inferências de informações biofísicas da cobertura da terra utilizadas em modelos de estudos regionais e globais (Friedl et al., 2002).

O produto MCD12Q1 versão 6 fornece mapas anuais de cobertura do solo em escala global e resolução espacial de 500m. Estes mapas são obtidos por meio de classificação supervisionada dos dados de reflectância da superfície MODIS e podem ser obtidos por 5 diferentes métodos de classificação (Menashe e Friedl, 2018). O IGBP é considerado um dos principais modelos de classificação da cobertura do solo e é utilizado como base para outros modelos (McCallum et al., 2006; Yang et al., 2017). Este esquema de classificação divide a superfície terrestre em 17 classes distintas (Tabela 1). Desde 1992, o Programa IGBP tem trabalhado para fornecer dados de cobertura da terra em escala global (Belward et al., 1999).

Além do produto MCD12Q1, o Brasil tem a sua disposição o produto nacional de Cobertura e Uso da Terra (abreviado aqui como CUT – IBGE) fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Este produto espacializa e quantifica a cobertura e uso da terra em escala nacional e é disponibilizado a cada dois anos possibilitando, assim, analisar a dinâmica do território brasileiro em termos dos processos de ocupação, da utilização da terra e de suas transformações.

Atualmente o tipo de cobertura fornecida pelo CUT-IBGE é obtido por meio de interpretação visual de imagens do sensor Operational Terra Imager - OLI do satélite Landsat 8, realizadas por fotointerpretes com o auxílio de dados de outros programas de monitoramento da superfície como PRODES (INPE); séries temporais das imagens Landsat disponíveis na ferramenta web Landsat App (ESRI); séries temporais do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), levantamentos de campo entre outros (IBGE, 2018).

Em seu formato atual este produto inclui 12 classes de cobertura do solo (Tabela 1). Para realização do mapeamento da cobertura e uso da terra, o território brasileiro é dividido em blocos de análises com dimensões de 450 km x 450 km contendo os insumos necessários para a avaliação do fotointerprete. Para minimizar as distorções decorrentes da grande extensão territorial do país, bem como compatibilizar os mapas de vegetação disponibilizados pelo IBGE, é gerada uma Grade Estatística com Projeção Equivalente de ALBERS que cobre todo o território brasileiro com células medindo 1 km². Assim, após a classificação das imagens Landsat 8, os resultados obtidos são reamostrados e disponibilizados em uma escala espacial de 1 km² para todo o território nacional.

2.5 ÍNDICES DE ACURÁCIA PARA VALIDAÇÃO DE MAPAS DE COBERTURA DA TERRA

O teste de concordância Kappa (K), também conhecido por coeficiente de Kappa, foi proposto por Jacob Cohen em 1960 e é um dos testes de concordância mais utilizados em análise de confiabilidade de classificação de imagens (Congalton, 1991; Congalton & Green, 2009, Souza e Silva, 2012). De forma semelhante, a

Acurácia Geral (AG) representa a porcentagem geral de acerto na classificação, isto é, a soma dos pontos classificados corretamente dividido pelo número total de pontos amostrados (Congalton, 1991; Congalton & Green, 2009). Já a Classificação Correta (CC), indica a capacidade geral que o produto teve em classificar corretamente os verdadeiros positivos e negativos, ou seja, pixels que realmente pertenciam a uma determinada classe e pixels que realmente não pertenciam a essa mesma classe.

Outro índice frequentemente utilizado na mensuração da acurácia de classificação é o Erros de Omissão, o qual representam a taxa com que uma classe é erroneamente ocupada por outra classe no produto de classificação (Congalton, 1991; Congalton & Green, 2009). Já os Erros de Comissão representam a taxa com que uma classe ocupou erroneamente a área da classe verdadeira no produto de classificação (Congalton, 1991; Congalton & Green, 2009).

A partir dos erros omissão, é obtido a Acurácia do produtor, a qual é uma acurácia baseada nos dados de referência e indica a probabilidade de uma determinada área no solo ser classificada no mapa, ou seja, a probabilidade de um pixel do solo (verdadeiro) ser classificado corretamente no mapa, e está diretamente relacionada aos Erros de omissão (isto é, $AP = 1 - EO$). Por outro lado, a Acurácia do Usuário é uma medida baseada no mapa e indica o grau de confiabilidade do mapa, ou seja, a probabilidade de o mapa representar o que realmente está no solo, e está diretamente relacionada aos erros de comissão (isto é, $AU = 1 - EC$) (Banko, 1998; Boschetti et al. 2004; Bogoliubova & Tymków, 2014).

Assim, ainda que os resultados obtidos pela análise da AP sejam satisfatórios, estes resultados necessitam ser confrontados com os resultados obtidos na AU, tendo como produto uma análise equilibrada entre os dois índices que fornecerá o grau de confiabilidade real do sistema de classificação e do mapa utilizado. Neste sentido, foi proposto neste trabalho o cálculo da Acurácia Média (AM) a qual é obtida a partir da média entre AP e AU.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi dividido em três etapas e propõe uma análise nos padrões de mudança de cobertura da terra e seus efeitos em variáveis ambientais utilizando dados de sensoriamento remoto nos anos 2000, 2001 e 2016. Estes anos representam dois momentos distintos quanto a mudança de cobertura de Mato Grosso.

A partir dos anos 2000, os efeitos do Plano Real associado a crescente demanda internacional por commodities agrícolas, deram ao Mato Grosso um grande impulso ao desenvolvimento agrícola (Arvor et al., 2016, Chaddad, 2016). Por outro lado, o ano 2016 compõe uma região de inflexão das taxas de desmatamento anual em Mato Grosso, a qual vinha em redução acentuada desde 2005, contudo, a partir dos anos 2015 e 2016 voltaram a crescer (PRODES, 2021).

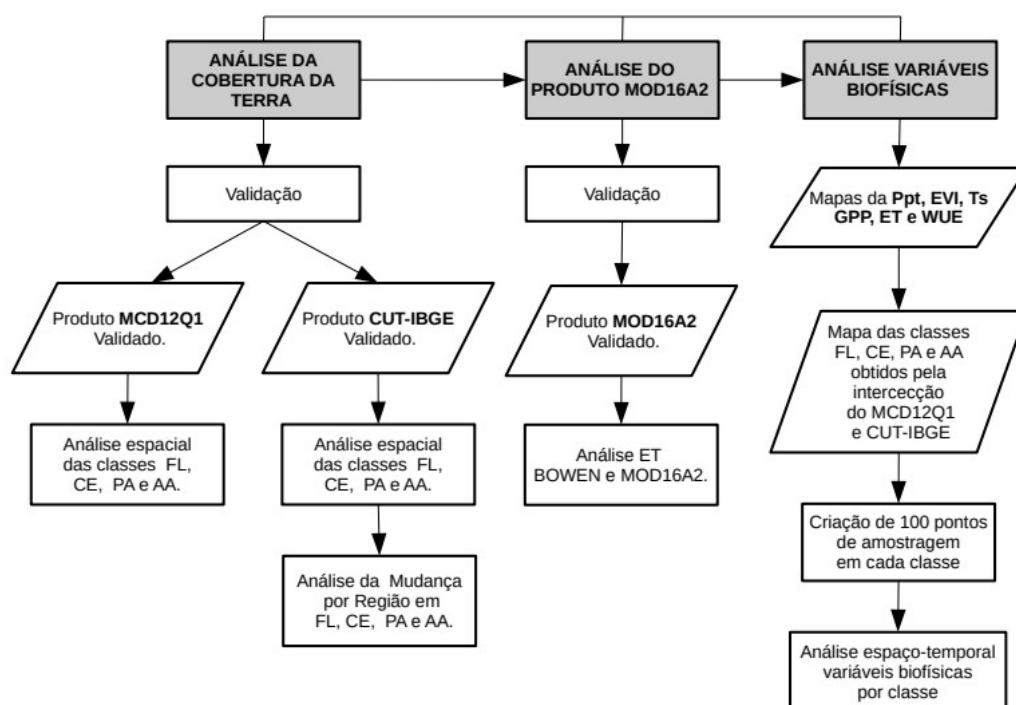


Figura 1: Fluxograma com etapas dos processos realizados para análise de cobertura da terra, análise do produto de Evapotranspiração MOD16A2 e análise das variáveis biofísicas realizadas para as áreas de floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA) e Área Agrícola (AA) em Mato Grosso.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no estado de Mato Grosso localizado na região Centro-Oeste do Brasil (Figura 2). O estado de Mato Grosso possui a terceira maior extensão territorial do país formada pelos biomas Floresta Amazônica, Cerrado e Pantanal. A Floresta Amazônica está distribuída majoritariamente no norte do estado. O Cerrado está presente na região central e sudeste e o Pantanal está localizado na porção Sul. A economia do estado é baseada no agronegócio, com ênfase no cultivo de soja, milho, algodão e rebanho bovino (Nascimento et al., 2018).

De acordo com a classificação de Köppen, Mato Grosso está dentro da zona Climática Tropical e possui dois climas distintos (Figura 2a). Na região norte o clima é do tipo Am (47% do estado) com precipitação anual de aproximadamente 3000 mm. Na região sul o clima é do tipo Aw (53% do estado) com precipitação anual variando entre 1800 e 2300 mm (Alvares et al., 2013). Em função desse gradiente climático o período seco (precipitação <100mm) varia de abril a agosto no norte do estado e abril/maio a setembro na região central e sul, com temperatura média anual de 25°C (Biudes et al., 2015, Normal climatológica INMET, 2019).

A validação do produto MODIS de evapotranspiração (MOD16A2) utilizado neste trabalho foi realizada em quatro sítios experimentais com diferentes dinâmicas hídricas e fitofisionômicas, distribuídos no sentido norte-sul do estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 2a). O primeiro sítio (abreviado neste trabalho como SIN) é uma floresta tropical de transição Amazônia-Cerrado localizado na porção norte do estado de Mato Grosso, distante 50 km de Sinop (11°24.75'S: 55°19.50'O, 423 m acima do mar). A vegetação é composta majoritariamente pelas espécies *Brosimum lactescens*, *Qualea paraensis* and *Tovomita schomburkii* com altura do dossel entre 25 a 28m e Índice de Área Foliar (IAF) de 4,8 m².m⁻² no período chuvoso e 4,2 m².m⁻² no período seco (Biudes et al., 2014). O solo é um neossolo quartzarênico caracterizado por aproximadamente 90% de areia, baixo pH (4.2) e baixa fertilidade. A temperatura média na região é 24.7°C com precipitação anual de aproximadamente 2000 mm ano⁻¹ e período seco de 5 meses (maio-setembro) (Biudes et al., 2015, Pavão et al., 2018).

O segundo sítio (abreviada neste trabalho como FMI) é uma região de Cerrado localizada na Fazenda Miranda, distante 15 km ao sul de Cuiabá (15°43' 53,66" S: 56°04' 18,81" O) (Figura 2a). A vegetação é caracterizada como campo sujo dominada por gramíneas nativas e não-nativas e pelas espécies arbóreas semidecíduas *Curatella americana* L. e *Diospyros hispida* A.DC. (Vourlitis et al., 2013). O solo da região é o Latossolo vermelho-amarelo distrófico (Radambrasil, 1982), com altas taxas de infiltração de água, todavia com reduzida capacidade de retenção de água (Domingues et al., 2013). A média da temperatura mensal varia de 18°C em junho-julho a máxima de 29°C em outubro e a precipitação média anual é de 1420 mm ano⁻¹ com período seco de maio a setembro (Biudes et al., 2015).

O terceiro e o quarto sítio estão localizados em uma região sazonalmente alagada no bioma Pantanal (Figura 2a). O terceiro sítio (abreviada neste trabalho como BPE) está localizado no sítio experimental Baía das Pedras, distante 105 km a Sudoeste de Cuiabá (16° 29' 53,52" S: 56°24'46,23" O). A vegetação deste sítio é predominantemente do tipo *Combretum laxum*, conhecida localmente como "Pombeiral," que é um grande arbusto de até 3 m que cresce em arvoredos muito densos em todo o Pantanal (Santos et al., 2006). O quarto sítio (abreviada neste estudo como CAM) é uma área de vegetação monodominante de Cambará (*Vochysia divergens* Pohl) com dossel entre 28 a 30 m e Índice de Área Foliar (IAF) médio de 3.5 m². m⁻² localizada na RPPN SESC Pantanal, distante 107 km de Cuiabá (16°33' 19.11" S: 56°17' 11.49" W) (Biudes et al., 2013). A topografia de ambos os sítios experimentais é plana, o que favorece a formação de lâmina d'água com altura de 1-2 m no período chuvoso (Nunes Da Cunha e Junk 2004). A temperatura anual média da região é 26.1°C e precipitação média de 1400 mm com período seco de maio a setembro (Biudes et al., 2014; 2015).

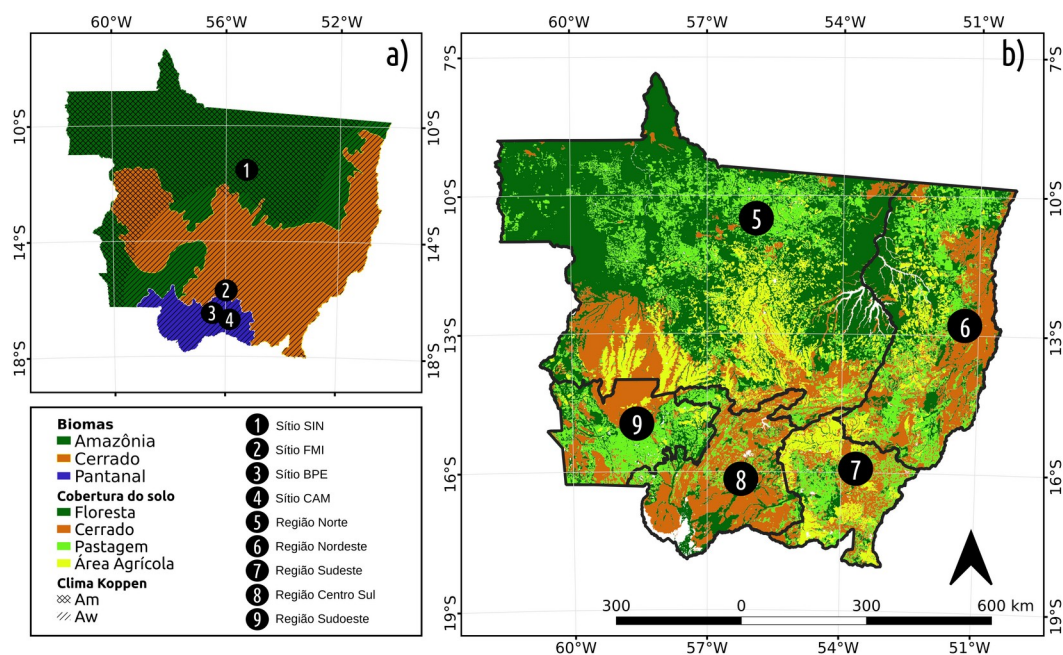


Figura 2: a) Clima do Mato Grosso e distribuição espacial dos biomas Floresta Amazônica, Cerrado e Pantanal, bem como das torres de fluxo em uma floresta tropical de transição Amazônia-Cerrado (SIN), uma área de Cerrado (FMI) e áreas sazonalmente alagadas de floresta monodominante de Cambará (CAM) e Arbustos (BPE) no Pantanal. b) Divisões de Mato Grosso conforme Mesorregiões (IBGE, 1990) e tipos de cobertura do solo em Mato Grosso, Brasil, no ano de 2016.

3.2 MEDIDAS METEOROLÓGICAS

O saldo de radiação (R_n), temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR) e fluxo de calor no solo (G) foram medidos nas torres de fluxo instaladas em cada um dos sítios experimentais. Os sensores, a aquisição de dados, bem como os sistemas de registro e armazenamento são semelhantes em todos os sítios (Tabela 1). A análise de dados de cada sítio experimental esteve sujeita à disponibilidade de dados. Assim, os dados medidos foram analisados entre 2005 a 2008 em SIN, 2009 a 2013 em FMI, 2011 a 2014 em BPE e 2007 a 2008 em CAM.

Tabela 1: Descrição dos equipamentos utilizados para medir saldo de radiação (Rn), temperatura do ar (Ta), umidade relativa do ar (UR) e fluxo de calor no solo (G) e a altura respectiva que cada sensor foi instalado em nos sítios SINOP (SIN), Fazenda Miranda (FMI), Baía das Pedras (BPE) e Cambarazal (CAM).

Variável	Descrição do Equipamento	Altura de instalação (m)			
		SIN	FMI	BPE	CAM
Rn	NRLITE, Kipp & Zonen, Delft, Netherlands	42	5	20	33
Ta/UR	HMP-45AC, Vaisala Inc., Woburn, MA, USA	39/45	5/18	22/31	33/37
G	HFP01, Hukseflux BV, Delft, The Netherlands	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Datalogger	CR10X, CR5000, CR1000, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA	-	-		-

3.3 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR BOWEN

A evapotranspiração média (ET; mm 30-min⁻¹) foi estimada pelo método da Razão de Bowen (Eq. 1). Foi assumido que os gradientes foram suficientes em cada área experimental devido à relativa homogeneidade do terreno. Os critérios utilizados na seleção dos dados calculados pelo método da Razão de Bowen foram os descritos por Perez et al. (1999) e revisado por Hu et al. (2013). A evapotranspiração diária foi obtida pela soma de 48 valores de evapotranspiração medidos a intervalos médios de 30 minutos. A ET diária foi integrada a cada oito dias (ET_{Medida}; mm 8-day⁻¹) para comparação com a ET_{MODIS}.

$$ET = \left(\frac{LE}{\lambda} \right) \quad (1)$$

em que LE é o fluxo de calor latente (W m⁻²) (Eq. 2) e λ é calor latente de vaporização (Eq. 3).

$$LE = \frac{Rn - G - \Delta S}{1 + \beta} \quad (2)$$

$$\lambda = 1.919 \cdot 10^{-6} \left(\frac{T + 273.16}{(T + 273.16) - 33.91} \right)^2 \quad (3)$$

em que Rn é o Saldo de Radiação (W m⁻²), G é o fluxo de calor no solo (W m⁻²), ΔS é o armazenamento de calor no dossel e na biomassa calculados através da parametrização proposta por Moore e Fisch (1986) e T é a temperatura média do ar.

O ΔS foi calculado a cada 30 minutos em SIN e CAM, entretanto, foi desprezado em FMI e BPE em função da baixa densidade de vegetação. β é a razão de Bowen (Eq.4).

$$\beta = \left(\frac{C_p}{\lambda 0.622} \right) \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (4)$$

em que C_p é o calor específico a pressão constante ($1.00467 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$), 0.622 é a proporção de pesos moleculares de água e ar, ΔT é a diferença de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Δe é a diferença da pressão de vapor de água (kPa) entre os dois níveis de medição.

Mais detalhes do processamento dos dados de Evapotranspiração estimados pelo método da Razão de Bowen utilizados neste estudo, bem como, do preenchimento de lacunas ocasionadas por falha no sensor e/ou rejeição de dados conforme os critérios estabelecidos por Perez et al., (1999) podem ser obtidos em Biudes et al. (2015).

3.4 PRODUTOS DE SATÉLITE

Portanto, as imagens do produto de cobertura MCD12Q1-IGPB para o ano de 2001 e 2016 foram baixadas do website Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS) (<https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/>) gerenciado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) (Tabela 2). Já as imagens do produto CUT-IBGE de 2000 e 2016 foram baixadas da Plataforma Geográfica Interativa (PGI) de Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil (https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/) gerenciado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O produto de precipitação (GPM_3IMERGM v06) referente aos anos de 2001 e 2016 foi baixado no website GIOVANNI (Geospatial Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure) desenvolvido pelo Centro de Serviços de Informação e Dados de Ciências da Terra Goddard (GES DISC). Os produtos MODIS de Índice de Vegetação Aprimorado (MOD13A1 V6), Temperatura da Superfície (MOD11A2 V6), Produtividade Primária Bruta (MOD17A2H V6) e Evapotranspiração (MOD16A2 V6) foram baixados do website Application for

Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS) (<https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/>) gerenciado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA). Os dados foram baixados com base em arquivo vetorial referente a todo o território de Mato Grosso. A Tabela 2 apresenta informações complementares referentes a cada um dos dados obtidos.

Os dados do produto MOD16A2, utilizados para validação, foram obtidos com base no período de dados medidos disponíveis, e baixados a partir das coordenadas geográficas de cada uma das torres de fluxo.

Tabela 2: Informações dos produtos de precipitação (Ppt), Índice de Vegetação Aprimorado (EVI), Temperatura da Superfície (LST), Produtividade Primária Bruta (GPP) e Evapotranspiração (ET).

Variável	Produto	Versão	Unidade	Resolução temporal	Resolução espacial	Nº de imagens	Período de análise
Cobertura	MCD12Q1	6	Classes	Anual	500m	01	2001 e 2016
Cobertura	CUT-IBGE		Classes	2 anos	1km	01	2000 e 2016
Ppt	GPM 3IMERGM	7	mm/mês	Mensalmente	0,1°	12	2001 e 2016
EVI	MOD13A1	6	-	16 dias	250m	23	2001 e 2016
LST	MOD11A2	6	K	8 dias	1km	46	2001 e 2016
GPP	MOD17A2H	6	kg C/m ²	8 dias	500m	46	2001 e 2016
ET	MOD16A2	6	kg H ₂ O/m ²	8 dias	500m	46	2001 e 2016

A Eficiência do Uso da Água (WUE) pode ser entendida como uma medida da quantidade de biomassa produzida por unidade de água usada por uma planta (Hatfield e Dold, 2019). Assim, neste estudo a WUE foi calculada pela Equação 5:

$$WUE = \frac{GPP(MOD17A2H)}{ET(MOD16A2)} \quad (5)$$

em que WUE é a Eficiência do Uso da água (g C kg⁻¹ H₂O 8day⁻¹), GPP é a Produtividade Primária Bruta (g C m⁻² 8day⁻¹) e ET é a Evapotranspiração (kg H₂O m⁻² 8day⁻¹)

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

3.5.1 VALIDAÇÃO DO PRODUTO MCD12Q1 E CUT-IBGE

Neste trabalho, todas as classes de floresta (Classes 1 a 5) do produto MCD12Q1 foram unidas em uma única classe denominada Floresta (FL) (Tabela 3). De forma semelhante, a classe Cerrado e suas variações fitofisionômicas (Arbustos abertos - 6, Arbustos fechado - 7, Savana lenhosa - 8 e Savana - 9) foram agrupadas em uma única classe, i.e., na classe Cerrado (CE). As demais classes foram mantidas, mas sua nomenclatura (i.e., rótulos de cada classe) foram modificadas com o objetivo de compatibilizar os rótulos das classes entre os produtos MCD12Q1 e CUT-IBGE (Tabela 3). Assim, o resultado foi 9 classes do MCD12Q1.

As classes do CUT-IBGE também foram agrupadas. As classes Mosaico de Ocupação em Área Florestal (4) e Vegetação Florestal (6) foram agrupadas em uma única classe denominada Floresta (FL). As classes Vegetação Campestre (10) e Mosaico de Ocupação em Área Campestre (11) foram agrupadas na classe Cerrado (CE) (Tabela 3). As demais classes foram mantidas, mas mudada a nomenclatura para possibilitar comparar com o resultado do MCD12Q1. Neste estudo, devido à inconsistência dos dados a classe “*Área descoberta*” foi considerada apenas para fins de cálculo de área, mas não foi utilizada na validação do produto, resultando 8 classes no produto CUT-IBGE.

A validação das classes avaliadas nos produtos MCD12Q1 e CUT-IBGE em Mato Grosso foi feita com 25 pontos de controle criados aleatoriamente para cada classe, produto e ano analisado e conferidos um a um usando imagens de alta resolução, disponíveis no Google Earth. Os dados de cada produto, extraídos nos 25 pontos de controle foram utilizados para calcular a matriz de confusão. A partir da matriz de confusão foram gerados 7 índices para avaliação de desempenho individual e dois índices para análise de desempenho geral das classes avaliadas (Tabela 4).

Tabela 3: Classes de cobertura do solo dos produtos MCD12Q1 e CUT – IBGE obtidos em seu formato original e ajustado com novas nomenclaturas utilizadas para o estado de Mato Grosso em 2001 e 2016.

MCD12Q1 (IGBP)	CUT-IBGE	Ajustado
Evergreen Needleleaf Forests Evergreen Needleleaf Forests Deciduous Broadleaf Forests Mixed Forests	Mosaico de Ocupações em Área Florestal Vegetação Florestal	Floresta
Closed Shrublands Open Shrublands	Vegetação Campestre	Cerrado
Woody Savannas Savannas	Mosaico de Ocupações em Área Campestre	
Grasslands	Pastagem com Manejo	
Permanent Wetlands	Área Úmida	Área Úmida
Croplands	Área Agrícola	Área Agrícola
Urban and Built-up Lands	Área Artificial	Área construída
Cropland/Natural Vegetation Mosaics	-	Mosaico Vegetação e Cultivo
Barren	Área Descoberta	Solo exposto
Water Bodies	Corpo d'água Continental	Corpo d'água
-	Silvicultura	Silvicultura

Foi realizado uma análise de transferência de área e distribuição espacial entre os anos de 2001 e 2016 com o produto MCD12Q1 e entre 2000 e 2016 com o produto CUT-IBGE.

Tabela 4: Índices de desempenho geral (Kappa e Acurácia Geral - AG) e índice de desempenho por classe (Taxa de Classificação Correta - CC, Taxa de Classificação Incorreta - CI, Erro de Omissão - EO, Erro de Comissão - EC, Acurácia do Produtor - AP, Acurácia do Usuário - AU e Acurácia Média - AM) aplicados na análise dos produtos MCD12Q1 e CUT – IBGE em Mato Grosso.

Índices	Fórmula
Kappa	$\frac{N \sum_{i=i}^m \sum_{j=i}^m D_{ij} - \sum_{i=i}^m R_i \cdot C_j}{N^2 - \sum_{i=i}^m R_i \cdot C_j}$
Acurácia Geral	$\frac{\sum D_{ji}}{N}$
Taxa de Classificação correta	$\frac{(a+d)}{N}$
Taxa Classificação incorreta	$1 - CC$
Erro de Omissão	$\frac{c}{a+c}$
Erro de Comissão	$\frac{b}{n}$
Acurácia do Produtor	$1 - Erro de Omissão$
Acurácia do Usuário	$1 - Erro de Comissão$
Acurácia Média	$\frac{AP+AU}{2}$

Em que N – número total de pixels, m – número de classes, $\sum D_{ij}$ - elementos diagonais totais de uma matriz de erro, R_i – número total de pixels na linha i, C_j – número total de pixels na coluna j, a - verdadeiro positivo , b - Falso positivo , c - Verdadeiro negativo e d - Falso negativo (Congalton, 1991; Congalton & Green, 2009; Fielding & Bell, 1997; Banko, 1998; Boschetti et al. 2004; Bogoliubova & Tymków, 2014).

3.5.2 VALIDAÇÃO DO PRODUTO MOD16A2

A partir dos dados obtidos em cada um dos sítios de análise foram calculadas

as médias geral e sazonal com seus respectivos intervalos de confiança (a $\pm 95\%$) da ET_{Medida} e da ET_{MODIS} pela técnica de reamostragem bootstrapping com 1000 interações (Efron e Tibshirani, 1993). A acurácia das estimativas do produto MOD16A2 (ET_{MODIS}) foi avaliada sazonalmente pelo índice de concordância de Willmott (d) proposto por Willmott (1985) (Eq. 6), Erro Médio Absoluto (EMA) (Eq. 7), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) (Eq. 8) e Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE) (Eq. 9).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (6)$$

$$MAE = \sum \frac{|P_i - O_i|}{n} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum |P_i - O_i|^2}{n}} \quad (8)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \times 100\% \right| \quad (9)$$

em que P_i são os valores estimados, O_i os valores observados, O é a média dos valores observados, e n é o número de observações. O índice de Willmott apresenta o grau de desempenho de uma estimativa com base na distância entre os valores estimados e observados. Seus valores podem variar de 0 (nenhuma concordância) a 1 (concordância perfeita) (Willmott, 1985). O MAE indica a distância (desvio) média absoluta. O RMSE indica a falha do modelo em estimar a variabilidade das medições em torno da média e mede a variação dos valores estimados em torno dos medidos. O limite mínimo de RMSE é 0 o que representa um acordo perfeito entre as estimativas do modelo e os dados medidos. O MAPE representa a média dos erros percentuais.

3.5.3 ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA ET, GPP E WUE

Neste estudo as variáveis GPP, ET e WUE foram analisadas em 2016 com base nas classes floresta, Cerrado, pastagem e área agrícola. Os tipos/máscaras de cobertura do solo foram obtidos a partir da intersecção entre produto MODIS de

cobertura do solo MCD12Q1 e o produto de Uso e Cobertura da Terra CUT-IBGE. Isto foi feito com o objetivo de aumentar a confiabilidade das classes e reduzir os erros/distorções espaciais. Assim, a classe floresta foi obtida a partir da intersecção entre a classe floresta do produto MCD12Q1 e a classe floresta do arquivo de biomas fornecido pelo IBGE. Este mesmo processo foi feito para obtenção das classes Cerrado, pastagem e área agrícola.

Foram aleatorizados 100 pontos em cada um dos quatro tipos de coberturas analisados. As médias anuais e sazonais com seus respectivos intervalos de confiança ($IC \pm 95\%$) da GPP, ET e WUE foram calculadas a partir dos valores extraídos dos 100 pontos em cada uma das coberturas usando a técnica de reamostragem de bootstrapping com 1000 interações (Efron e Tibshirani, 1993). A associação entre as variáveis analisadas neste estudo foi avaliada a partir de uma matriz de correlação utilizando os coeficientes de correlação de Pearson.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DA COBERTURA DO SOLO

4.1.1 VALIDAÇÃO DO PRODUTO MCD12Q1 E CUT-IBGE

O produto de classificação da cobertura do solo MCD12Q1 em 2001 teve Índice Kappa e Acurácia Geral ligeiramente menor (~7.3%) que em 2016 (Tabela 5). Em geral, todas as classes em 2001 e 2016 tiveram Classificação Correta (CC) superiores a 90% com taxas de Classificação Incorreta ranging de 0 a 10% (Tabela 5).

Em 2001, os Erros de Omissão (EO) e Comissão (EC) variaram de 0 a 45% e de 0 a 40%, respectivamente. Os maiores EO's (>25%) ocorreram em Cerrado, pastagem área úmida e corpo d'água. Valores de EO iguais a 0% ocorreram em área construída, mosaico vegetação/cultivo e solo exposto (Tabela 5). Assim, o Cerrado foi majoritariamente omitida por pastagem e área construída, i.e., 75% dos erros de omissão no Cerrado foram ocasionados pela pastagem (37%) e área construída (37%). A pastagem foi omitida pelo Cerrado (63%) e mosaico vegetação/cultivo (37%); área úmida foi omitida por corpo d'água (100%); e corpo d'água foi omitida por área úmida (33%) e solo exposto (67%).

Os maiores EC's (>35%) foram obtidos em Cerrado e solo exposto e os menores EC's foram obtidos em floresta (0%) e área agrícola (4%) (Tabela 5). Assim, o Cerrado ocupou o lugar da classe floresta e pastagem, i.e., todos os Erros de Comissão ocasionados pelo Cerrado ocorreram na floresta (33%) e pastagem (67%), enquanto o solo exposto ocupou o lugar do corpo d'água (100%). A Acurácia do Produtor (AP) variou de 55 a 100% com os maiores valores (> 83%) registrados em floresta, área agrícola, área construída, mosaico vegetação/cultivo e solo exposto (Tabela 5). Valores de AP menores que 66% ocorreram em Cerrado e corpo d'água. A Acurácia do Usuário (AU) variou de 60 a 100% com maiores valores (> 87%) na floresta, pastagem e área construída e valores menores que 77% nas demais classes.

Tabela 5: Classificação Correta (CC), Classificação Incorreta (CI), Erro de Omissão (EO), Erro de Comissão (EC), Acurácia do Produtor (AP), Acurácia do Usuário (AU), Acurácia Média (A. M), Índice Kappa e Acurácia Geral (Acur. Geral) obtidos do produto de classificação da cobertura do solo MCD12Q1 nos anos 2001 e 2016 em Mato Grosso, Brasil.

Índices	Classes										Acur. Geral	
	FL	CE	PA	PN	AA	AC	MVC	SE	CA	Kappa		
2001	CC	0.98	0.92	0.94	0.95	0.98	0.99	0.97	0.96	0.90	-	-
	CI	0.02	0.08	0.06	0.05	0.02	0.01	0.03	0.04	0.10	-	-
	EO	0.17	0.33	0.30	0.26	0.14	0.00	0.00	0.00	0.45	-	-
	EC	0.00	0.36	0.24	0.20	0.04	0.12	0.24	0.40	0.28	-	-
	AP	0.83	0.67	0.70	0.74	0.86	1.00	1.00	1.00	0.55	-	-
	AU	1.00	0.64	0.76	0.80	0.96	0.88	0.76	0.60	0.72	-	-
	AM	0.92	0.65	0.73	0.77	0.91	0.94	0.88	0.80	0.63	-	-
	Geral											0.77
2016	CC	0.99	0.96	0.96	0.96	0.96	0.98	1.00	0.96	0.92	-	-
	CI	0.01	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.00	0.04	0.08	-	-
	EO	0.07	0.05	0.24	0.19	0.23	0.00	0.00	0.00	0.38	-	-
	EC	0.00	0.28	0.12	0.16	0.08	0.16	0.04	0.32	0.20	-	-
	AP	0.93	0.95	0.76	0.81	0.77	1.00	1.00	1.00	0.63	-	-
	AU	1.00	0.72	0.88	0.84	0.92	0.84	0.96	0.68	0.80	-	-
	AM	0.96	0.83	0.82	0.82	0.84	0.92	0.98	0.84	0.71	-	-
	Geral											0.83

Em 2016, os Erros de Omissão (EO) e Comissão (EC) variaram de 0 a 38% e de 0 a 32%, respectivamente. Os maiores EO (>22%) ocorreram em pastagem, área agrícola e corpo d'água (Tabela 5). EO iguais a 0% ocorreram em área construída, mosaico vegetação/cultivo e solo exposto. Em termos do EO, a pastagem foi omitida majoritariamente pelo Cerrado (57%); área agrícola foi omitida pelo Cerrado (43%) e mosaico vegetação/cultivo (29%); e corpo d'água foi omitida por solo exposto (67%) e área úmida (33%). Os maiores valores de EC (> 19%) ocorreram em Cerrado, solo exposto e corpo d'água e o menor em floresta (0%) (Tabela 5). Considerando os valores de EC, o Cerrado ocupou majoritariamente o lugar da pastagem (57%) e área

agrícola (29%); solo exposto ocupou o lugar de corpo d'água (100%) e corpo d'água ocupou o lugar de área úmida (100%). A Acurácia do Produtor (AP) variou de 62 a 100% com os maiores valores ($> 92\%$) em floresta, Cerrado, área construída, mosaico vegetação/cultivo e solo exposto (Tabela 5). Valores de AP menores que 81% ocorreram nas demais classes. A Acurácia do Usuário (AU) variou de 68 a 100% com maiores valores ($> 87\%$) em floresta, pastagem, área agrícola e mosaico vegetação/cultivo e valores menores que 85% nas demais classes.

Ao contrário dos resultados do produto MCD12Q1 em 2001 e 2016, o Índices Kappa e Acurácia Geral em 2000 no produto CUT-IBGE foram ligeiramente superiores ($\sim 3\%$) que em 2016 (Tabela 6). Em geral, todas as classes tiveram valores de Classificação Correta (CC) superiores a 94% com taxas de Classificação Incorreta (CI) variando de 0 a 5% em ambos os anos (Tabela 6).

Em 2000 os Erros de Omissão (EO) e Comissão (EC) no produto CUT-IBGE variaram de 0 a 16%. Os maiores valores de EO ($> 10\%$) ocorreram em floresta, Cerrado, pastagem e área agrícola. Valores de EO iguais a 0% ocorreram em área úmida, área construída, silvicultura e corpos d'água (Tabela 6). Assim, considerando os valores de EO, a floresta foi majoritariamente omitida por área úmida (50%); Cerrado foi omitido por floresta (25%), pastagem (25%), área agrícola (25%) e corpo d'água (25%); pastagem foi omitida por floresta (67%) e Cerrado (33%); e área agrícola foi omitida por floresta (33%), Cerrado (33%) e pastagem (33%). Os maiores valores de EC ($> 11\%$) ocorreram em floresta, Cerrado e pastagem e valores de EC iguais a 0% em área agrícola e silvicultura (Tabela 6). Neste sentido, a floresta ocupou majoritariamente o lugar da pastagem (50%); o Cerrado ocupou o lugar de pastagem (33%), área agrícola (33%) e floresta (33%); e pastagem ocupou o lugar da floresta (33%), Cerrado (33%) e pastagem (33%).

Tabela 6: Classificação Correta (CC), Classificação Incorreta (CI), Erro de Omissão (EO), Erro de Comissão (EC), Acurácia do Produtor (AP), Acurácia do Usuário (AU), Acurácia Média (A. M), Índice Kappa e Acurácia Geral (Acur. Geral) obtidos do produto de Cobertura e Uso da Terra disponibilizado pelo IBGE (CUT-IBGE) nos anos 2000 e 2016 em Mato Grosso, Brasil. Onde (AM) é a média entre a Acurácia do Produtor (AP) e a Acurácia do Usuário (AU).

Índices	Classes									Acur. Geral	
	FL	CE	PA	PN	AA	AC	SC	CA	Kappa		
2000	CC	0.96	0.97	0.97	0.99	0.98	1.00	1.00	1.00	-	-
	CI	0.04	0.04	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	-	-
	EO	0.16	0.15	0.12	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	-	-
	EC	0.16	0.12	0.12	0.08	0.04	0.00	0.00	0.04	-	-
	AP	0.84	0.85	0.88	1.00	0.89	1.00	1.00	1.00	-	-
	AU	0.84	0.88	0.88	0.92	0.96	1.00	1.00	0.96	-	-
	AM	0.84	0.86	0.88	0.96	0.92	1.00	1.00	0.98	-	-
	Geral									0.92	0.93
2016	CC	0.96	0.95	0.97	1.00	0.97	1.00	0.97	1.00	-	-
	CI	0.04	0.05	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03	0.01	-	-
	EO	0.19	0.20	0.12	0.04	0.17	0.00	0.00	0.00	-	-
	EC	0.12	0.20	0.12	0.00	0.04	0.00	0.24	0.04	-	-
	AP	0.81	0.80	0.88	0.96	0.83	1.00	1.00	1.00	-	-
	AU	0.88	0.80	0.88	1.00	0.96	1.00	0.76	0.96	-	-
	AM	0.85	0.80	0.88	0.98	0.89	1.00	0.88	0.98	-	-
	Geral									0.89	0.90

A Acurácia do produtor (AP) variou de 84 a 100% com os maiores valores (> 87%) em pastagem, área úmida, área agrícola, área construída, silvicultura e corpo d'água, enquanto AP menor que 86% ocorreram nas demais classes (Tabela 6). De forma semelhante, a Acurácia do usuário (AU) ranged de 84 a 100% com maiores valores (> 91%) em área úmida, área agrícola, área construída, silvicultura e corpo d'água e valores menores que 89% nas demais classes.

Em 2016, os Erros de Omissão (EO) e Comissão (EC) variaram de 0 a 20% e de 0 a 24%, respectivamente. Os maiores valores de EO (>17%) ocorreram em

floresta, Cerrado e área agrícola. EO iguais a 0% ocorreram em área construída, silvicultura e corpo d'água (Tabela 6). Assim, considerando os valores de EO, a floresta foi omitida por silvicultura (80%); Cerrado foi omitida pela floresta (60%), pastagem (20%) e área agrícola (20%); e área agrícola foi omitida por Cerrado (40%), pastagem (20%) e silvicultura (40%). Os maiores valores de EC ($> 19\%$) ocorreram em Cerrado e Silvicultura com EC igual a 0% em área úmida (0%) e área construída (Tabela 6). Considerando os valores de EC, o Cerrado ocupou majoritariamente o lugar da pastagem (60%) e área agrícola (40%); e silvicultura ocupou o lugar da floresta (70%) e área agrícola (30%).

A Acurácia do Produtor (AP) variou de 80 a 100% com maiores valores ($> 96\%$) em área úmida, área construída, silvicultura e corpo d'água, enquanto valores de AP menores que 88% ocorreram nas demais classes. A Acurácia do usuário (AU) variou de 76 a 100% com maiores valores ($> 95\%$) em área úmida, área agrícola, área construída e corpo d'água e valores menores que 88% nas demais classes (Tabela 6).

4.1.2 DINÂMICA ESPACIAL DOS PRODUTOS MCD12Q1 E CUT-IBGE

De acordo com o produto MCD12Q1 o Cerrado apresentou padrão inconsistente entre 2001 e 2016 com um aumento de aproximadamente 11% de sua cobertura (Tabela 5). Por outro lado, a classe floresta perdeu ~15% de sua cobertura e as classes pastagem e área agrícola aumentaram aproximadamente 6 e 51%, respectivamente. Em 2016, apesar de sua redução, a classe com maior taxa de cobertura dentro da área de estudo foi a Floresta (38%), seguida pelo Cerrado (33%) e pela Pastagem (23%) (Tabela 7).

O produto CUT-IBGE seguiu o mesmo padrão do produto MCD12Q1 para classes floresta, pastagem e área agrícola, com diferenças apenas nos valores (Tabela 7). Contudo, no produto CUT-IBGE, diferente do produto MCD12Q1, a cobertura Cerrado reduziu entre os anos 2001 e 2016. Assim, as maiores perdas de cobertura ocorreram nas classes Floresta (16%) e Cerrado (9%) e maiores ganhos nas classes

Área Agrícola (66%) e Pastagem (31%). Em 2016 a classe com maior taxa de cobertura dentro da área de estudo foi a Floresta (41%), seguida por Cerrado (24%) e Pastagem (21%), divergindo assim, do produto MCD12Q1, em que a segunda maior cobertura foi pastagem e a terceira Cerrado (Tabela 7).

Tabela 7: Área em Quilômetros quadrados (km²) do produto MCD12Q1 e CUT-IBGE para as classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Mosaico Vegetação e Cultivo (MVC; presente apenas em MOD12Q1), Silvicultura (SC; presente apenas em CUT-IBGE), Solo Exposto (SE) e Corpo D'água (CA) em Mato Grosso nos anos de 2001 e 2016 para o produto MCD12Q1; 2000 e 2016 para o produto CUT-IBGE.

Classes	MCD12Q1			km ²	CUT-IBGE		
	2001	2016	Incre.		2000	2016	Incre.
FL	401.810	342.802	-59.008		442.309	372.936	-69.373
CE	264.393	294.589	30.196		235.903	214.987	-20.916
PA	196.179	207.399	11.220		144.104	188.060	43.956
WA	5.679	5.958	279		8.621	8.651	30
AA	33.567	50.667	17.100		68.581	113.609	45.028
AC	860	864	4		1.117	1.337	220
MVC/SC	752	894	142		266	1.321	1.055
SE	22	30	9		300	300	
CA	1.574	1.632	58		2.304	2.304	0
TOTAL	904.835	904.835			903.505	903.505	

4.1.3 MUDANÇA NAS CLASSES DOS PRODUTOS MCD12Q1 E CUT-IBGE

A análise de mudança de cobertura entre 2001 e 2016 realizada com o produto MCD12Q1 confirmou a inconsistência do produto em comparar a mudança de cobertura entre dois anos distintos informadas por Sulla-Menashe et al., 2018. Além de fornecer um aumento da área de Cerrado entre 2001 e 2016, de acordo com o produto MCD12Q1, cerca de 62 e 68% da área modificada na classe floresta e pastagem foram transformadas em Cerrado, respectivamente (Tabela 6). Estes resultados são contrários a estudos prévios que confirmam a crescente redução da cobertura do Cerrado no Brasil (Beuchle et al., 2015, Arvor et al., 2021).

Tabela 8: Mudança de cobertura em Quilômetros quadrados (km²) das classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Mosaico Vegetação Cultivo (MVC) e Corpo d'água (CA) entre os anos de 2000 e 2016 para o produto MCD12Q1 em Mato Grosso, Brasil.

Classes	km ²									
	FL	CE	PA	PN	AA	AC	MVC	SE	CA	PERDA
FL	327.924	45.587	24.100	279	3.899	0	20	0	327.924	45.587
CE	13.786	213.726	34.278	554	1.818	0	229	2	13.786	213.726
PA	952	34.367	145.978	87	14.718	4	64	9	952	34.367
WA	75	412	92	4.989	0	0	0	8	75	412
AA	29	320	2.937	1	30.053	0	227	0	29	320
AC	0	0	0	0	0	860	0	0	0	0
MVC	32	175	10	1	180	0	354	0	32	175
SE	0	0	3	1	0	0	0	11	0	0
CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GANHO	14.874	80.862	61.421	923	20.614	4	540	19	14.874	80.862

No produto IBGE não foram observadas inconsistências de classes encontradas no produto MCD12Q1. De acordo com o produto CUT-IBGE entre 2000 e 2016, em termos majoritários, 63% da área modificada nas classes floresta e Cerrado foram transformadas em pastagem e 35% em área agrícola (Tabela 9). Aproximadamente 91% da área modificada na classe pastagem foi transformada em área agrícola e 64% da área modificada na classe área agrícola tornou-se em pastagem (Tabela 9).

Devido as inconsistências observados no produto MCD12Q1 a análise de regionalizada de perdas ou ganhos nas classes floresta, Cerrado, pastagem e área agrícola foi realizada apenas com o produto CUT-IBGE. Assim, em termos regionais, a perda de cobertura da floresta se concentrou majoritariamente nas regiões Norte (72%) e Nordeste (24%) (Figura 3 e Tabela 10). Por outro lado, no Cerrado a perda de cobertura foi distribuída entre as regiões Nordeste (38%), Norte (29%), Sudeste (21%) e Centro-Sul (10%). Os maiores avanços da pastagem e área agrícola ocorreram na região Norte (58 e 67%, respectivamente), seguido da região Nordeste (30 e 24%), respectivamente. As menores modificações (<5%) de cobertura

das classes floresta, pastagem e área agrícola ocorreram nas regiões Centro-Sul e Sudeste.

Tabela 9: Mudança de cobertura em Quilômetros quadrados (km²) das classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Silvicultura (SC) e Corpo D'água (CA) entre os anos de 2000 e 2016 para o produto CUT-IBGE em Mato Grosso, Brasil.

Classes	km ²								
	FL	CE	PA	PN	AA	AC	SC	CA	SE PERDA
FL	372,378		44,654		25,087	72	118		69,931
CE		214923	13352	88	7263	58	219		20,980
PA	519	35	129593		13289	36	632		14,511
WA		14		8563	43	1			58
AA	39	15	399		67963	54	111		618
AC						1117			0
SC					19	6	241		25
CA								2304	12
SE									3
GANHO	558	64	58,405	88	45,701	227	1,080	0	

Tabela 10: Distribuição das áreas modificadas para as classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA) e Área Agrícola (AA) conforme as Mesorregiões de planejamento do estado de Mato Grosso até o ano de 2016, Brasil.

Região	Classes (km ²)			
	Floresta	Cerrado	Pastagem	Agricultura
Norte	-49,860	-6,006	25,580	30,055
Nordeste	-16,406	-7,917	13,335	10,909
Sudeste	-228	-4,354	2,057	2,051
Centro - Sul	-744	-2,187	1,950	697
Sudoeste	-2,136	-452	1,034	1,316

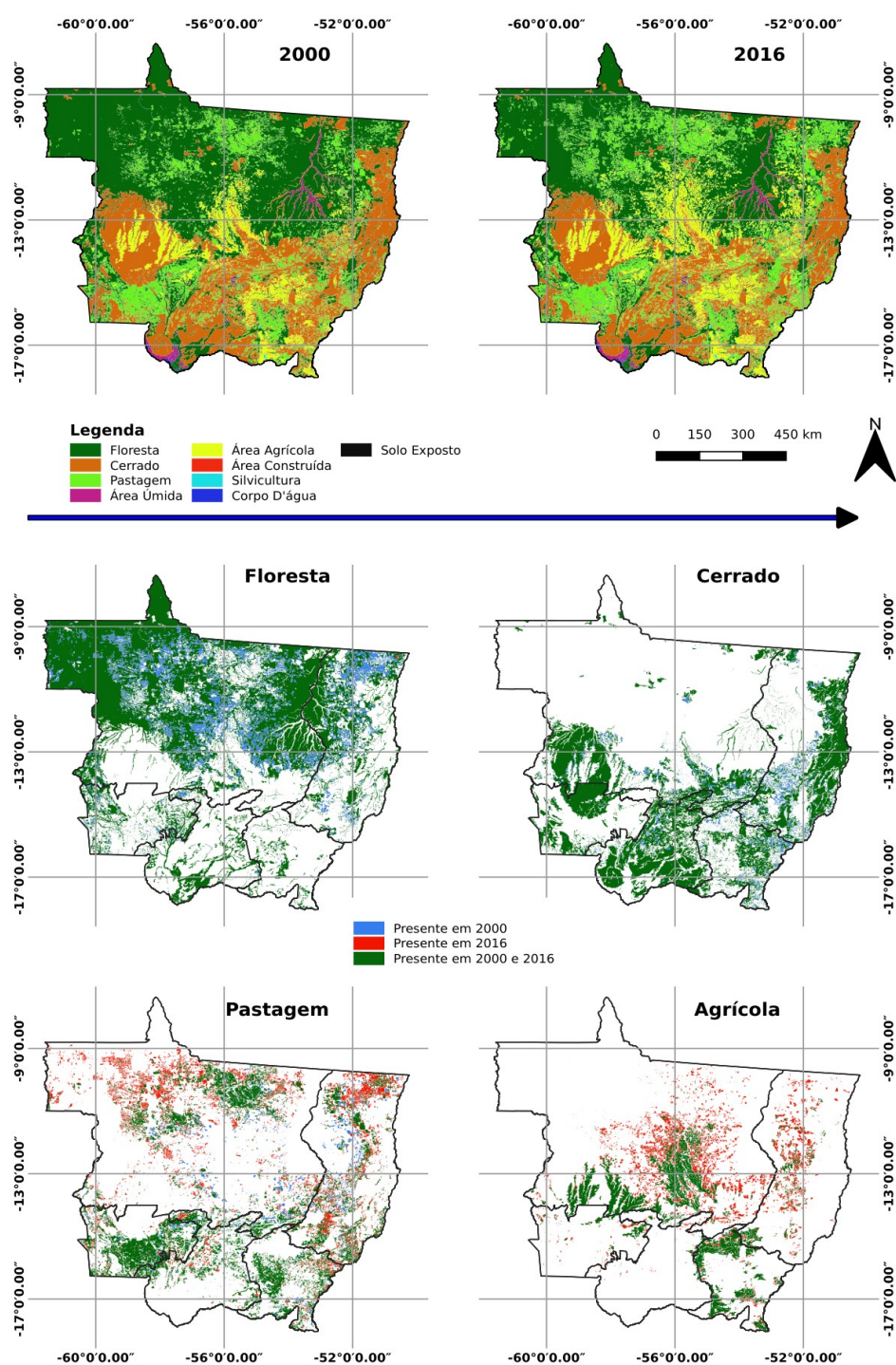


Figura 3: Cobertura da terra e distribuição das classes Floresta, Cerrado, Pastagem e Área Agrícola entre os anos 2000 e 2016 obtida a partir do produto CUT – IBGE em Mato Grosso, Brasil. A coloração azul indica regiões que as respectivas classes de cobertura do solo estavam presentes no ano de 2000. A coloração vermelha indica

regiões que as respectivas classes de cobertura do solo estavam presentes no ano de 2016. A coloração verde indica regiões em que as respectivas classes permaneceram entre 2000 e 2016, isto é, locais em que não houve mudança de classe entre os anos 2000 e 2016.

4.2 ANÁLISE DO PRODUTO DO MOD16A2

4.2.1 DINÂMICA ESPACIAL E SAZONAL DA ET OBTIDA PELO MÉTODO DE BOWEN E ESTIMADA PELO PRODUTO MOD16A2

Os maiores valores da evapotranspiração medida (ET_{Medida}) e evapotranspiração obtida do produto MOD16A2 (ET_{MODIS}) foram obtidos em ambientes de floresta (CAM e SIN) seguido pelo pantanal (BPE) e menores valores no Cerrado (FMI) (Figura 4). A ET_{Medida} no período chuvoso foi em média 22, 48, 24 e 28% maior do que no período seco nos sítios SIN, FMI, BPE e CAM, respectivamente.

Em geral, os maiores valores de ET_{Medida} ocorreram entre janeiro e março e os menores valores ocorreram entre maio e setembro (Figura 2). A ET_{MODIS} no período chuvoso foi em média 12, 54, 49 e 38% maior do que no período seco nos sítios SIN, FMI, BPE e CAM, respectivamente. Em geral, os maiores valores de ET_{MODIS} ocorreram entre novembro e março e os menores valores ocorreram em setembro (Figura 2).

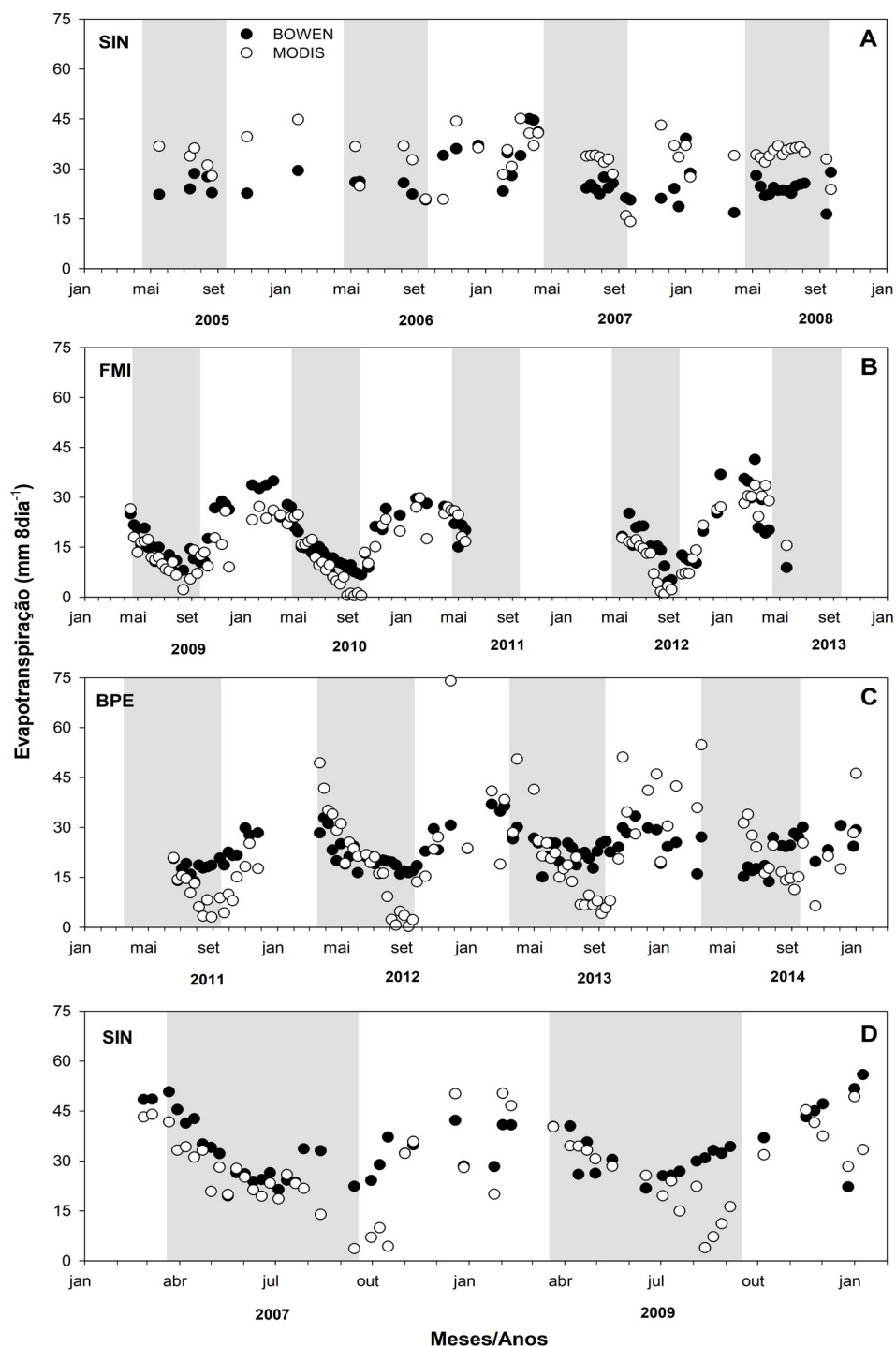


Figura 4: Padrão temporal da Evapotranspiração acumulada a cada 8 dias (mm 8-day-1) obtida do balanço de energia em torres de fluxo pelo método da razão de Bowen (ETMedida) e Evapotranspiração (mm 8-day-1) derivada do produto MOD16A2 (ETMODIS) obtidos nos sítios experimentais SIN, FMI, BPE e CAM.

4.2.2 VALIDAÇÃO DO PRODUTO MOD16A2

A média da ET estimada pelo produto MOD16A2 (ET_{MODIS}) não diferiu significativamente da ET medida (ET_{Medida}) em SIN no período chuvoso, contudo a ET_{MODIS} foi 24% maior que a ET_{Medida} no período seco e 21% maior que a ET_{Medida} anual (Tabela 9). Houve fraca correlação positiva entre ET_{MODIS} e ET_{Medida} em SIN durante o período anual, mas não houve correlação significativa durante o período chuvoso e seco. Os valores do coeficiente de Wilmott (d) na análise anual e no período chuvoso foram em média 43% maiores que no período seco (Tabela 9). Os valores do Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) e Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE) da ET_{MODIS} em SIN foram similares nos períodos estudados (Tabela 9).

A média da ET_{MODIS} na FMI não diferiu significativamente da ET_{Medida} em nenhum dos períodos de análise (Tabela 9). Houve correlação positiva entre ET_{MODIS} e ET_{Medida} em FMI em todos os períodos de análise. Os valores do coeficiente de Wilmott (d) foram superiores a 0.7 com valores da análise anual aproximadamente 14% maiores que os obtidos no período chuvoso e seco (Tabela 9). Os valores do MAE e o RMSE da ET_{MODIS} em FMI foram similares nos períodos estudados (Tabela 9). Por outro lado, os menores valores de MAPE foram obtidos no período chuvoso e maiores no período seco em FMI (Tabela 9).

A média da ET_{MODIS} na BPE no período chuvoso e anual não diferiu significativamente da ET_{Medida} . A média da ET_{MODIS} em BPE foi aproximadamente 23% menor que a ET_{Medida} no período seco (Tabela 9). Houve correlação positiva entre ET_{MODIS} e ET_{Medida} em BPE em todos os períodos de análise. Os valores do coeficiente de Wilmott (d) foram inferiores a 0.6 em todos os períodos de análise com valores do período chuvoso e seco aproximadamente 25% menores que os obtidos na análise anual (Tabela 9). Os erros MAE e RMSE variaram, respectivamente, entre 9 a 11 mm 8-day⁻¹ e 11 a 14 mm 8-day⁻¹ com maiores valores no período chuvoso (Tabela 9). Contudo, os valores de MAPE foram similares nos períodos estudados em BPE (Tabela 9).

Tabela 11: Média anual e sazonal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%), Coeficiente de correlação de Pearson (r), Índice de concordância de Willmott (d), Erro Médio Absoluto (MAE; mm 8-day-1), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE; mm 8-day-1) e Erro Médio Percentual Absoluto (MAPE; %) obtidos entre a Evapotranspiração acumulada a cada 8 dias (mm 8-day-1) obtida do balanço de energia em torres de fluxo pelo método da razão de Bowen (ET_{Medida}) e Evapotranspiração (mm 8-day-1) derivada do produto MOD16A2 (ET_{MODIS}) nos sítios experimentais SIN, FMI, BPE e CAM. Valores acompanhados de (*) indicam p-valor < 0.05 , (**) p-valor < 0.01 e (***) p-valor < 0.001 .

Sítio	Período	ET_{Medida}	ET_{MODIS}	r	d	MAE	RMSE	MAPE
SIN	Chuvoso	31.0 ± 4.1	36.5 ± 2.8	0.20	0.50	8.72	10.99	35.25
	Seco	24.1 ± 0.9	31.9 ± 1.9	0.24	0.30	8.87	9.63	37.89
	Anual	26.6 ± 1.7	33.5 ± 1.7	0.33*	0.54	8.82	10.13	36.96
FMI	Chuvoso	25.5 ± 2.3	22.8 ± 2.0	0.63***	0.77	5.08	6.58	20.58
	Seco	13.3 ± 1.2	10.5 ± 1.6	0.69***	0.74	4.47	5.28	37.53
	Anual	18.4 ± 1.7	15.6 ± 1.7	0.82***	0.88	4.72	5.86	30.51
BPE	Chuvoso	27.2 ± 1.6	31.5 ± 5.3	0.41*	0.43	11.06	14.33	41.30
	Seco	20.7 ± 1.0	16.0 ± 2.3	0.29*	0.43	8.50	10.32	41.91
	Anual	22.9 ± 1.0	21.1 ± 2.8	0.55***	0.57	9.35	11.81	41.71
CAM	Chuvoso	40.4 ± 3.7	31.0 ± 4.1	0.57**	0.68	7.98	11.26	20.45
	Seco	29.2 ± 2.0	24.1 ± 0.9	0.32	0.48	8.42	11.39	28.23
	Anual	33.6 ± 2.4	26.6 ± 1.7	0.64***	0.70	8.24	11.34	25.15

A média da ET_{MODIS} em CAM no período chuvoso não diferiu significativamente da ET_{Medida} , contudo, a média da ET_{MODIS} foi aproximadamente 25% menor que a ET_{Medida} no período seco e 19% menor que na análise anual (Tabela 9). Houve correlação positiva entre ET_{MODIS} e ET_{Medida} em CAM na análise anual e no período chuvoso e nenhuma correlação durante o período seco. Os valores do coeficiente de Willmott (d) na análise anual e no período chuvoso foram em média 31% maiores que no período seco (Tabela 9). Os valores do MAE e o RMSE da ET_{MODIS} em CAM foram similares nos períodos estudados (Tabela 9). Por outro lado, os menores valores de MAPE foram obtidos no período chuvoso e maiores no período seco em CAM.

4.3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS BIOFÍSICAS

4.3.1 DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DAS TROCAS DE ENERGIA E MASSA EM MATO NO GROSSO NO ANO DE 2016

De modo geral, as regiões norte e central de Mato Grosso tiveram os maiores totais pluviométricos com redução gradativa no sentido norte-sul atingindo menores valores nas bordas da região sudeste e sudoeste (Figura 5). O total anual médio da precipitação em floresta, pastagem e área agrícola não diferiu significativamente e foram em média 5% maior que os observados no Cerrado (Tabela 12). De modo geral, o período seco foi de abril a setembro e o chuvoso de outubro a março em todas as coberturas (Figura 6a).

A precipitação média no período chuvoso representou aproximadamente 87% da precipitação total anual, com totais mensais máximos em janeiro e mínimos em julho em todas as coberturas (Tabela 12 e Figura 6a). A precipitação do período seco no Cerrado foi em média 27% menor que nas demais coberturas.

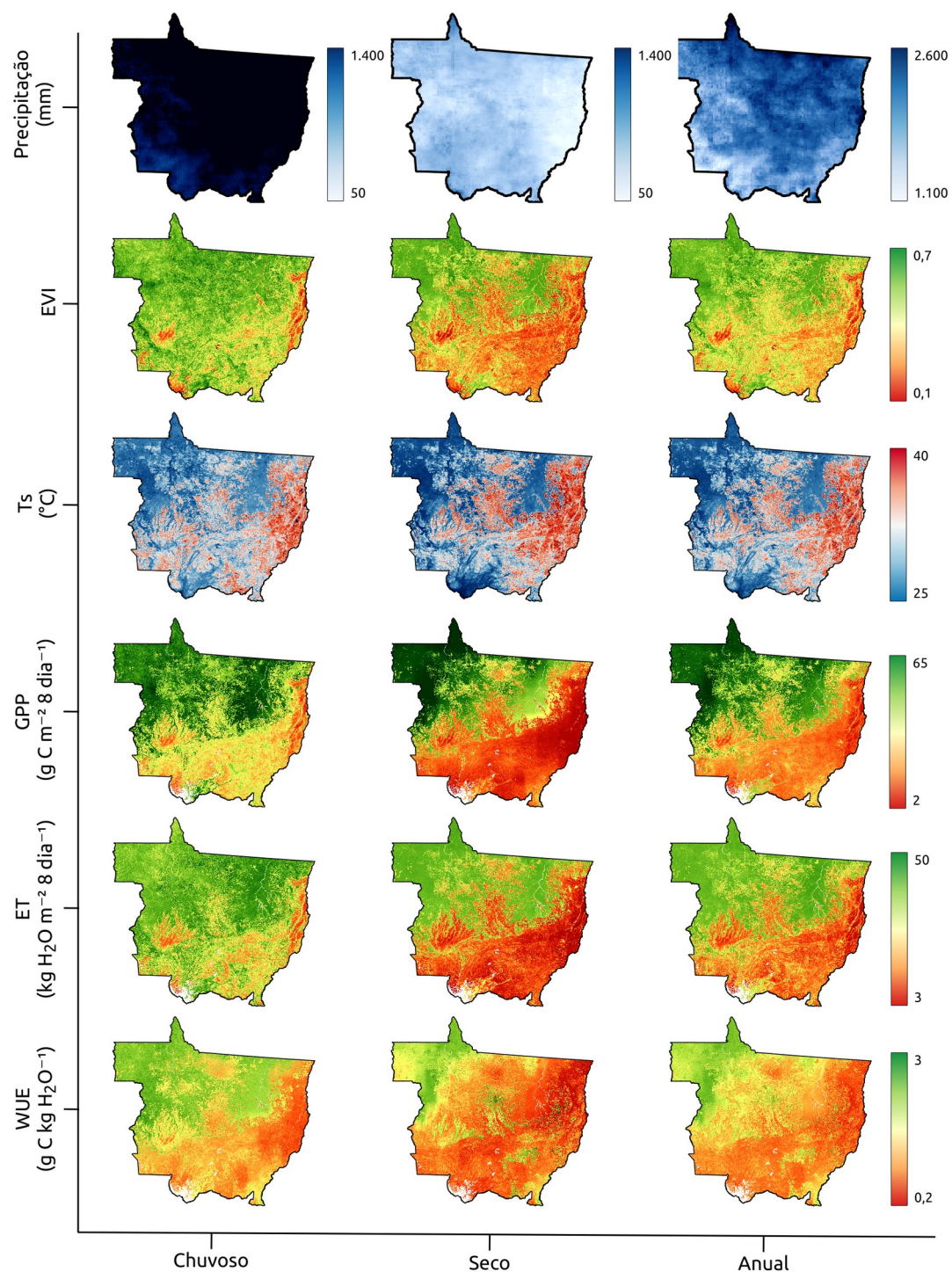


Figura 5: Distribuição espacial do Total sazonal da Precipitação (Ppt; GPM-3 IMERG) e Média sazonal do Índice de Vegetação Melhorado (EVI; MOD13A1), Temperatura da Superfície (Ts; MOD11A2), Produtividade Primária Bruta (GPP; MOD17A2H), Evapotranspiração (ET; MOD16A2) e Eficiência do Uso da Água (WUE) em Mato Grosso, Brasil em 2016.

A distribuição espacial do EVI teve variação sazonal acentuada em Mato Grosso com valores majoritariamente superiores a 0.4 no período chuvoso em praticamente todo o território e valores no período seco próximos a 0.1 nas regiões central, sudeste, nordeste e sudoeste do estado (Figura 5). A média anual do EVI na floresta foi, respectivamente, 24, 29 e 20% maior que o EVI do Cerrado, pastagem e área agrícola (Tabela 12). As médias anuais do EVI não diferiram significativamente no Cerrado e área agrícola e o menor valor médio anual foi na pastagem.

A média do EVI no período chuvoso não diferiu significativamente do período seco na floresta, contudo a média do EVI foi 19, 30 e 38% maior no período chuvoso no Cerrado, pastagem e área agrícola, respectivamente. Os valores médios mensais máximos de EVI ocorreram entre dezembro e fevereiro no Cerrado, pastagem e área agrícola e outubro e novembro na floresta (Figura 6b). Por outro lado, os valores médios mensais mínimos de EVI ocorreram em julho na floresta e agosto no Cerrado, pastagem e área agrícola (Figura 6). O EVI seguiu o padrão sazonal da precipitação no Cerrado, pastagem e área agrícola ($r = 0.65^*$, 0.72^{**} e 0.74^{**} ; $p\text{-valor} < 0.05$, respectivamente).

A temperatura da superfície (Ts) teve, de forma majoritária, menores valores na região norte (próximos a 25°C) e maiores na região nordeste (próximos 40°C) de Mato Grosso (Figura 5). A média anual da Ts na floresta foi aproximadamente 9, 14 e 12% menor que a Ts no Cerrado, pastagem e área agrícola, respectivamente (Tabela 12). A média anual da Ts na pastagem e área agrícola não diferiu significativamente.

Não houve diferença significativa da média da Ts entre período seco e chuvoso no Cerrado, pastagem e área agrícola, contudo, a média da Ts foi aproximadamente 2% maior no período chuvoso na floresta. Os valores máximos de Ts ocorreram entre setembro e outubro em todas as coberturas (Figura 6c). Os valores mínimos de Ts ocorreram em junho na floresta e Cerrado, e abril e dezembro na pastagem e área agrícola, respectivamente. A amplitude anual mensal (diferença entre máximo e mínimo mensal anual) da Ts foi aproximadamente 3, 7, 6 e 11°C floresta, Cerrado, Pastagem e área agrícola, respectivamente.

Tabela 12: Total sazonal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%) da Precipitação (Ppt; mm) e Média sazonal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%) do Índice de Vegetação Melhorado (EVI), Temperatura da Superfície (Ts; °C), Produtividade Primária Bruta (GPP; g C m⁻² 8 dia⁻¹), Evapotranspiração (ET; kg H₂O m⁻² 8 dia⁻¹) e Eficiência do Uso da Água (WUE; g C kg H₂O⁻¹) obtidos na Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA) e Área Agrícola (AA) em Mato Grosso, Brasil em 2016.

Descrição		Ppt	EVI	Ts	GPP	ET	WUE
FL	Chuvoso	1530,26 ± 42	0,52 ± 0,02	29,13 ± 0,29	54,01 ± 2,07	34,27 ± 1,41	1,89 ± 0,07
	Seco	227,63 ± 16	0,50 ± 0,01	28,44 ± 0,23	52,24 ± 1,90	33,42 ± 0,65	1,42 ± 0,06
	Anual	1757,89 ± 43	0,51 ± 0,01	28,78 ± 0,26	53,13 ± 1,99	33,84 ± 1,03	1,66 ± 0,06
CE	Chuvoso	1426,21 ± 54	0,43 ± 0,02	31,56 ± 0,31	33,43 ± 1,59	30,09 ± 1,37	1,31 ± 0,05
	Seco	207,21 ± 17	0,35 ± 0,01	31,43 ± 0,30	19,41 ± 1,36	16,84 ± 0,80	0,97 ± 0,05
	Anual	1633,42 ± 46	0,39 ± 0,01	31,49 ± 0,30	26,42 ± 1,47	23,47 ± 1,08	1,14 ± 0,05
PA	Chuvoso	1463,06 ± 50	0,43 ± 0,02	32,98 ± 0,33	31,82 ± 1,33	27,97 ± 1,24	1,35 ± 0,04
	Seco	217,01 ± 17	0,30 ± 0,01	33,69 ± 0,25	19,13 ± 1,01	14,86 ± 0,66	1,17 ± 0,05
	Anual	1680,07 ± 44	0,36 ± 0,01	33,33 ± 0,29	25,47 ± 1,17	21,42 ± 0,95	1,26 ± 0,05
AA	Chuvoso	1464,02 ± 30	0,50 ± 0,03	31,93 ± 0,62	32,28 ± 1,61	25,68 ± 1,49	1,49 ± 0,06
	Seco	260,35 ± 12	0,31 ± 0,02	33,76 ± 0,47	21,90 ± 0,84	14,36 ± 0,58	1,78 ± 0,06
	Anual	1724,36 ± 28	0,41 ± 0,02	32,85 ± 0,55	27,09 ± 1,22	20,02 ± 1,03	1,63 ± 0,06

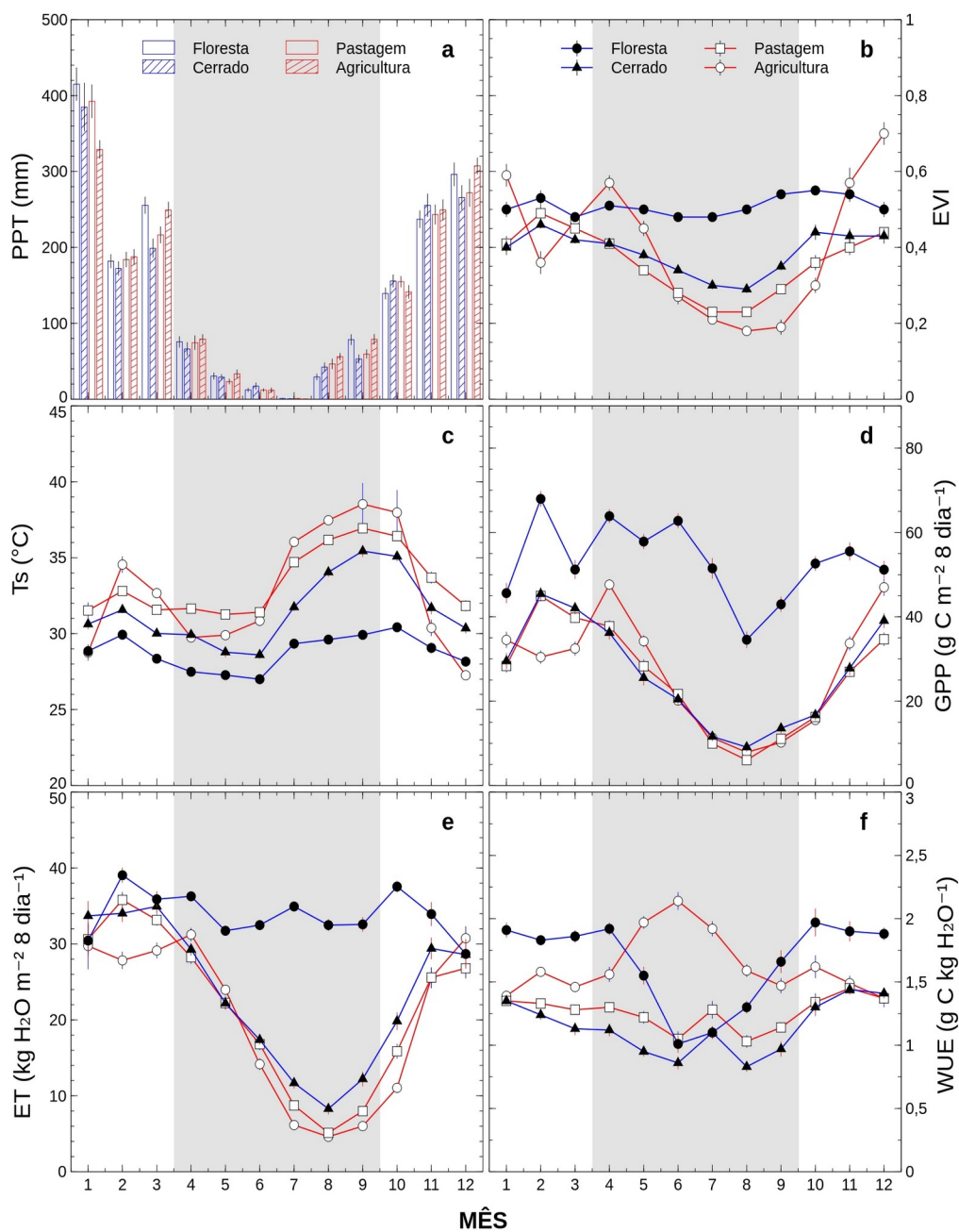


Figura 6: Total mensal ($\pm$ IC 95%) da Precipitação (PPT) e Média mensal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%) do Índice de Vegetação Melhorado (EVI), Temperatura da Superfície (Ts), Produtividade Primária Bruta (GPP), Evapotranspiração (ET) e Eficiência do Uso da Água (WUE) obtidos na Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA) e Área Agrícola (AA) em Mato Grosso, Brasil em 2016.

A Produtividade Primária Bruta (GPP) teve valores no período chuvoso variando entre 20 e 60 g C m⁻² 8 dia⁻¹ em praticamente todo território de Mato Grosso (Figura 7). Por outro lado, a GPP no período seco teve valores abaixo de 30 g C m⁻² 8 dia⁻¹ nas regiões central, sudeste, nordeste e sudoeste do estado. A média anual da GPP na floresta foi aproximadamente 50% maior que nas demais áreas (Tabela 12). A média anual da Produtividade Primária Bruta (GPP) não diferiu significativamente entre Cerrado, pastagem e área agrícola.

A média da GPP no período chuvoso não diferiu significativamente do período seco na floresta, contudo, a média da GPP foi 42, 40 e 32% maior no período chuvoso no Cerrado, pastagem e área agrícola, respectivamente. Os valores médios mensais máximos de GPP ocorreram em fevereiro na floresta, Cerrado e pastagem e em abril na área agrícola (Figura 6d). Por outro lado, os valores médios mensais mínimos de GPP ocorreram em agosto em todas as coberturas. De modo geral, a GPP na pastagem e área agrícola teve padrão mensal inverso ao da Ts ($r = -0.76^{**}$ e -0.87^{**} , respectivamente). No Cerrado, pastagem e área agrícola a GPP seguiu o padrão sazonal do EVI ($r = 0.79^{**}$, 0.92^{***} e 0.94^{***} , respectivamente). Contudo, na floresta a GPP respondeu a diminuição da precipitação com um atraso de aproximadamente 3 meses.

A Evapotranspiração (ET) teve valores no período chuvoso variando entre 20 e 44 kg H₂O m⁻² 8 dia⁻¹ em praticamente todo território de Mato Grosso (Figura 3). Por outro lado, a ET no período seco teve valores inferiores a 30 kg H₂O m⁻² 8 dia⁻¹ nas regiões central, sudeste, nordeste e sudoeste do estado. A média anual da ET na floresta foi aproximadamente 31, 37 e 41% maior que no Cerrado, pastagem e área agrícola, respectivamente (Tabela 12). As médias anuais da ET na pastagem e área agrícola não diferiram significativamente e foram os menores valores médios anuais.

A média da ET no período chuvoso não diferiu significativamente do período seco na floresta, contudo a média da ET foi em média 45% maior no período chuvoso no Cerrado, pastagem e área agrícola. Os valores médios mensais máximos de ET ocorreram entre fevereiro e abril nas coberturas estudadas (Figura 6e). Por outro lado, os valores médios mensais mínimos de ET ocorreram em dezembro na floresta

e agosto no Cerrado, pastagem e área agrícola. De modo geral, a ET na pastagem e área agrícola teve padrão mensal inverso ao da Ts ($r = -0.74^{**}$ e -0.81^{**} , respectivamente). No Cerrado, pastagem e área agrícola a ET seguiu o padrão sazonal da precipitação ($r = 0.74^{**}$, 0.66^{*} e 0.67^{*}), do EVI ($r = 0.84^{***}$, 0.94^{***} e 0.91^{***} , respectivamente) e da GPP (0.93^{***} , 0.96^{***} e 0.95^{***} , respectivamente). Por outro lado, na floresta a ET não esteve acoplada com nenhuma das variáveis analisadas.

De forma geral, os maiores valores da Eficiência do Uso da Água (WUE) ocorreram na região norte, e noroeste (Figura 3). As maiores variações sazonais ocorreram na região central, sudeste, nordeste e sudoeste do estado. As médias anuais da Eficiência do Uso da Água (WUE) não diferiram significativamente na floresta e área agrícola e foram em média 31 e 23% maior que a média anual da WUE obtida no Cerrado e na pastagem, respectivamente (Tabela 12).

A média da WUE no período chuvoso não diferiu significativamente do período seco na pastagem, contudo a média da WUE foi aproximadamente 25% maior no período chuvoso na floresta e no Cerrado. Por outro lado, a média da WUE no período seco foi 16% maior que no período chuvoso na área agrícola. Os valores médios mensais máximos de WUE ocorreram entre outubro e novembro na floresta, Cerrado e pastagem e em junho na AA (Figura 6f). Por outro lado, os valores médios mensais mínimos de WUE ocorreram entre junho e agosto na floresta, Cerrado e pastagem e dezembro na área agrícola. De modo geral, a WUE na floresta seguiu o padrão sazonal da precipitação ($r = 0.71^{**}$). Já no Cerrado e pastagem a WUE foi correlacionada com PPT (0.83^{*} e 0.68^{*} , respectivamente), EVI (0.75^{**} e 0.7^{*} , respectivamente) e ET (0.67^{*} e 0.63^{*}). Na área agrícola a WUE foi correlacionada negativamente com a precipitação (-0.79^{**}).

4.3.2 EFEITO DA MUDANÇA DE COBERTURA ENTRE OS ANOS 2001 E 2016 NAS VARIÁVEIS BIOFÍSICAS

Neste trabalho nós avaliamos as variáveis biofísicas em um local que no ano de 2001 era ocupado pela classe floresta ou Cerrado e em 2016 foi transformado em pastagem ou área agrícola (Figura 7).

De modo geral, nas áreas analisadas, a conversão de floresta para pastagem reduziu a média anual da precipitação e EVI em 11 e 18%, respectivamente, e aumentou a média anual da Ts em ~12% (Figura 7). Não houve diferença significativa na média anual da GPP, ET e WUE em área convertida de floresta para pastagem. Por outro lado, a conversão de floresta para área agrícola aumentou a média anual da precipitação, Ts e a WUE em 6, 11 e 14%, respectivamente, e reduziu a média anual do EVI em 19%. Não houve diferença significativa na média anual da GPP e ET em área convertida de floresta para área agrícola.

A conversão do Cerrado para pastagem reduziu a média anual da precipitação, EVI e WUE em 7, 12 e 39%, respectivamente, e aumentou a média anual da Ts, GPP e ET em 5, 24 e 36% (Figura 7). De forma semelhante, a conversão de Cerrado para área agrícola aumentou a média anual da Ts, GPP e ET em 5, 20 e 35%, respectivamente, e reduziu a média anual da WUE em 29%. Não houve diferença significativa na média anual da precipitação e EVI em área convertida de Cerrado para área agrícola.

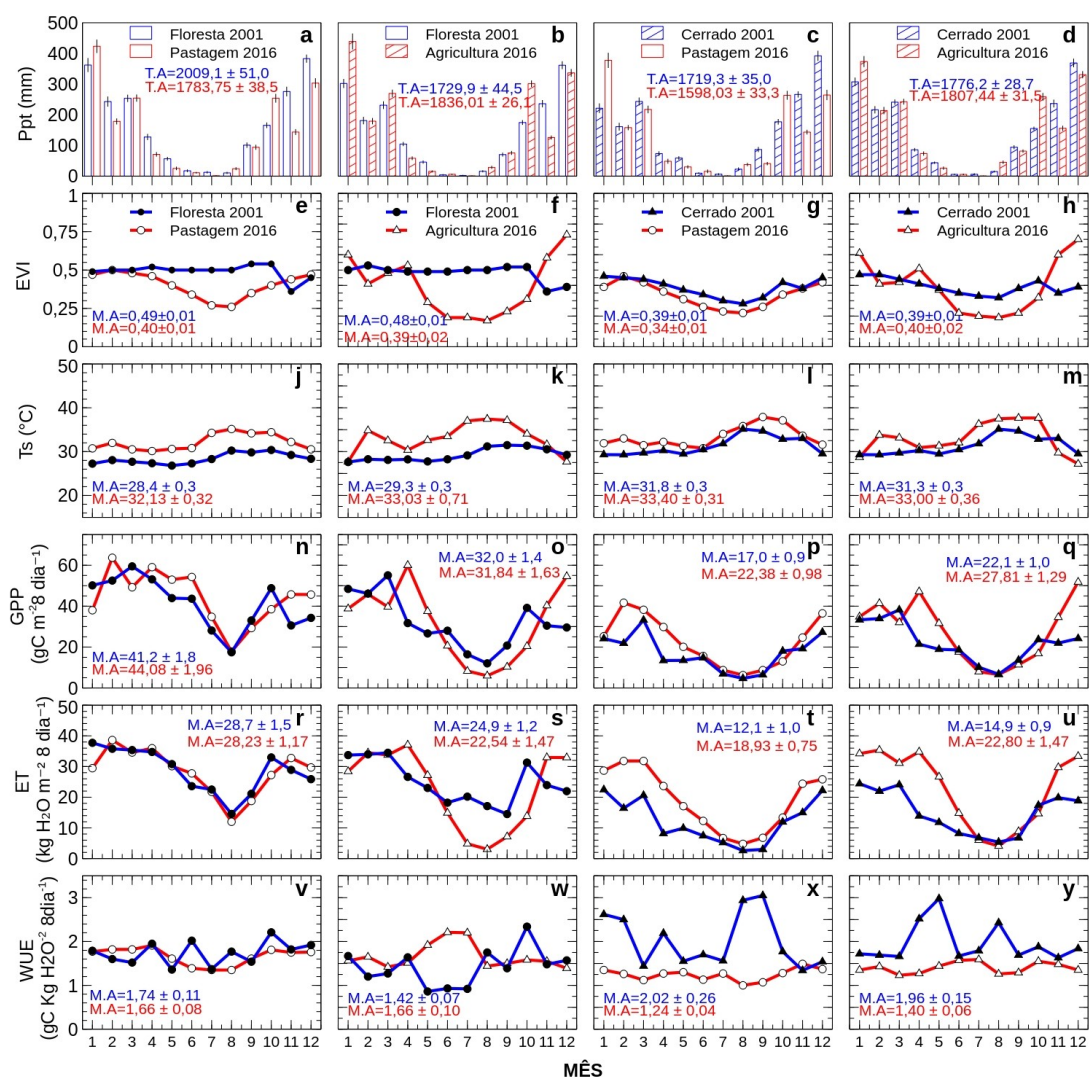


Figura 7: Total mensal ($\pm$ intervalo de confiança a 95%) da Precipitação (PPT) e Média mensal do Índice de Vegetação Melhorado (EVI), Temperatura da Superfície (Ts), Produtividade Primária Bruta (GPP), Evapotranspiração (ET) e Eficiência do Uso da Água (WUE) avaliados em um local com cobertura natural (2001) e após ser convertido para pastagem ou área agrícola (2016). Em que M.A=Média anual e T.A=Total anual. A linha azul representa a variável analisada em 2001 (floresta ou Cerrado) e a linha vermelha representa a variável analisada no mesmo local no ano de 2016 (pastagem ou área agrícola).

4.4 DISCUSSÃO

4.4.1 COBERTURA DO SOLO

Os índices de desempenho geral (Kappa e Acurácia geral) no produto MCD12Q1 em 2016 foram maiores que em 2001, mas o produto CUT-IBGE teve padrão inverso, com maiores valores em 2000. A variabilidade anual nos resultados de acurácia dos produtos de classificações pode decorrer das incertezas do classificador e de ruídos nos dados de entrada (Sulla-Menashe et al., 2019). Contudo, apesar da variabilidade interanual do desempenho dos produtos MCD12Q1 e CUT-IBGE, ambos tiveram taxas de Classificação Correta (CC) superiores a 90% nos dois anos de estudo.

Em média, os valores de Acurácia do Produtor e Acurácia do Usuário do produto CUT-IBGE foram aproximadamente 5 e 7% superiores aos obtidos com o produto MCD12Q1, respectivamente. Classes com alta AU e baixa AP indicam sub-mapeamento, como é o caso da classe corpo d'água que foi classificada erroneamente como solo exposto e área úmida no produto MCD12Q1. Por outro lado, classes com alta AP e baixo AU indicam um super-mapeamento, conforme observado na classe solo exposto no produto MCD12Q1. Por fim, baixos valores de AU combinados a baixos valores de AP indicam que tal classe foi mapeada com baixa precisão (Yang et al., 2017).

De modo geral, as misturas de classes dos produtos avaliados podem estar relacionadas a: 1) Similaridade fitofisionômica e, consequentemente, espectrais presentes entre algumas das classes analisadas, 2) às limitações da metodologia de classificação aplicada e, 3) as limitações na resolução espacial dos sensores orbitais utilizados. No Cerrado a mistura majoritária ocorreu com áreas pertencentes a classe floresta, pastagem e área construída. O bioma Cerrado não possui uma única fitofisionomia, mas sim três: a campestre (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre), a savânica (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e a florestal (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) (Ribeiro e Walter, 1998). Assim, a floresta e o Cerradão, quando comparados entre si, possuem características similares como, por exemplo, presença de espécies arbóreas, dosséis

altos, densos e verdes. Isto porque o Cerradão é uma fitofisionomia florestal constituída por florestas tropicais estacionais escleromorfas semidecíduas mais abertas (Coutinho, 1978, 2006). De forma semelhante no caso de pastagem e Cerrado campestre, ambas regiões possuem vegetação com estrato herbáceo ocupado por gramíneas e ocorrência de arbustos, o que pode aumentar o grau de dificuldade na diferenciação espectral e, conseqüentemente na classificação dessas áreas (Sulla-Menashe et al., 2019). Por outro lado, as misturas entre a classe Cerrado e área construída não decorrem da semelhança espectral entre as classes, mas sim das limitações de resolução espacial do Sensor MODIS que faz com que os pixels correspondentes a Áreas construídas extrapolem seus limites atingindo outras classes.

A classe de solo exposto do produto MCD12Q1 registrou apenas grandes dunas de areia ao longo de rios, confundindo-se, na maioria dos casos, com a própria água, conferindo assim baixos valores de AP à classe corpos d'água. Provavelmente, as dunas de areia (aqui classificadas como SE) ao longo dos rios, foram registradas pelo sensor orbital em alguns momentos do ano mais não estavam mais presentes na data da imagem de alta resolução utilizadas para validação do produto MCD12Q1. Outro fator limitante na análise do solo exposto é a resolução espacial do produto MCD12Q1, que atualmente corresponde a uma área de 500x500 m. Assim, dificilmente será encontrado uma área de solo exposto que alcance ou extrapole essa área, e, portanto, áreas menores não serão registradas no mapa e, quando registradas, tenderão extrapolar para outros tipos de classes.

A classe área úmida no MCD12Q1 foi confundida com corpos d'água, ou seja, em alguns locais no mapa a classe área úmida foi registrada erroneamente como corpos d'água (represas). Isto ocorre provavelmente pelo fato de que em algumas épocas do ano praticamente todas essas regiões são inundadas, a exemplo do Pantanal com o pulso de Inundação (Junk et al. 1989; Arieira e Nunes Da Cunha 2006). Por fim, a classe mosaico vegetação/cultivo do produto MCD12Q1 registrou nos dois anos parte de Matas Ciliares e porções remanescentes de florestas em divisa com áreas de pastagem e agrícolas. Esta confusão na classe mosaico vegetação/cultivo pode estar relacionado a sua heterogeneidade. Paisagens

heterogêneas podem complicar significativamente a distinção das características espectrais da superfície da terra e, conseqüentemente, seu mapeamento (Yang et al., 2017).

A floresta e o cerrado perderam parte de sua cobertura natural entre os anos 2000 e 2016. Estas perdas foram majoritariamente devido ao aumento das áreas de pastagem e agrícola, com destaque para a região norte e nordeste do estado. As mudanças de cobertura natural por pastagem e áreas agrícolas estão diretamente relacionadas ao perfil agropecuário regional. O estado de Mato Grosso é o terceiro maior estado em extensão territorial do Brasil (>903 mil km²) e o maior produtor de soja (~ 28% safra 2018/19) e de rebanho bovino (13.8%) do País (IBGE, 2019). As técnicas de correção dos solos, em especial a calagem, as condições geográficas favoráveis a mecanização, o avanço de tecnologias agrícolas associadas a cultivares adaptados ao clima da região contribui significativamente para o desenvolvimento da agricultura na região (von Dentz, 2019). Além disso, o avanço das atividades agrícolas nas regiões norte e nordeste de Mato Grosso representa a expansão da fronteira agropecuária do Brasil iniciada na década de 1970, ocupando o Cerrado e o sul da Floresta Amazônica (Dubreuil et al., 2005; Schallenberger e Schneider, 2010).

Apesar da perda de vegetação nativa de 2000 a 2016, o desmatamento na região teve uma redução considerável a partir do ano de 2004 devido as políticas públicas voltadas ao controle e redução do desmatamento na Amazônia Legal, com destaque aos Plano de Ação para Prevenção do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado). Considerando a média de referência de desmatamento (19.625 km²) baseada no período entre 1996 a 2005 prevista na Política Nacional de Mudança do Clima, em 2016 houve uma redução no desmatamento de aproximadamente 60% na Amazônia Legal (MMA, 2018). Como alternativa ao desmatamento, algumas áreas de pastagem foram convertidas em Área Agrícola. Esta transição pode estar relacionada com o aumento de produção de soja uma vez que a soja tem ocupado um lugar de destaque no mercado agrícola internacional e, conseqüentemente, um produto economicamente atrativo (Brandão et al., 2006, Magalhães et al., 2020).

Apesar dos desafios na redução do desmatamento da Amazônia Legal, como por exemplo, o significativo aumento do desmatamento a partir de 2019, a colaboração entre os entes federativos (União, Estados, Distrito Federal e municípios) associados as políticas públicas e elaboração de novas legislações ambientais, tem contribuído para o avanço na preservação ambiental no Brasil, em especial no estado de Mato Grosso. Um exemplo no avanço da legislação nacional é a Lei 12.651 de 2012 (conhecido como Novo Código Florestal) a qual instituiu o Cadastro Ambiental Rural (CAR). De acordo com a referida lei o CAR é *“registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento”* (Brasil, 2012). Além disso, a conscientização social, bem como políticas de exportação mais rígidas quanto a origem dos produtos impostas pelo mercado internacional tem exigido dos produtores nacionais posturas cada vez mais ajustada com as normas ambientais vigentes, o que contribui com o avanço do conceito de sustentabilidade econômica e ambiental no Brasil.

4.4.2 PRODUTO MOD16A2

Os menores valores de ET ocorreram em FMI, seguido por BPE e os maiores valores em CAM e SIN. Os menores valores da ET na FMI são atribuídos ao tipo de vegetação e ao solo do sítio (Biudes et al., 2015). A vegetação na FMI é composta de gramíneas e árvores de pequeno porte e espaçadas entre si (Rodrigues et al., 2016), e consequentemente, menor área efetiva para transpiração. O tipo de solo da FMI apresenta alta porosidade e baixa capacidade de retenção de água, o que drena rapidamente a água (dentro de 3-5 dias) após a precipitação (Rodrigues et al., 2013, 2014; Danelichen et al., 2016). Por outro lado, regiões de floresta monodominante sazonalmente alagadas (CAM) possuem umidade no solo suficiente durante o período chuvoso e um sistema radicular eficiente para manter ambos os processos de evaporação e transpiração durante o período seco (Biudes et al., 2014;2015). De forma semelhante, as florestas tropicais semidecíduas (SIN) possuem dosséis altos e

frondosos e um sistema radicular eficiente em absorver água no lençol freático profundo mesmo durante a seca (Fisher et al., 2007, Vourlitis et al., 2008). Já a área arbustiva sazonalmente inundada (BPE) responde de maneira distinta as mudanças ambientais.

As diferenças entre BPE e CAM, apesar de estar sob mesmas condições hidrológicas, podem ser observadas pelo padrão sazonal da vegetação presente nas duas áreas. Os sítios BPE e CAM possuem valores de EVI (que pode ser usado como um indicativo da resposta fenológica local) semelhantes nos meses que antecedem a inundação, contudo, após o início da inundação os valores de EVI diminuem acentuadamente até agosto em BPE enquanto em CAM a redução é menos acentuada (Biudes et al., 2015). A vegetação presente em ambientes como BPE possuem um sistema radicular pequeno (Salis et al., 2014) e por isso é susceptiva a situações de estresse impostas pelo excesso de água, como é o caso do período de inundação, bem como situações de indisponibilidade de água no solo, como ocorre no pico do período seco, no qual o Conteúdo Volumétrico de Água no Solo (VSWC) atinge valores inferiores a $0.2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (Biudes et al., 2015). Outro aspecto importante na diferença da ET entre CAM e BPE é o aumento do Índice de Área Foliar (IAF) do sub-bosque em CAM durante o período seco (Biudes et al., 2013), o que proporciona maior área efetiva para evapotranspiração no período seco em CAM quando comparado com BPE.

Em termos de média sazonal o produto MOD16A2 foi mais acurado ao estimar a ET na FMI (Cerrado) e menos acurado em SIN e CAM (Florestas). Em termos de erros sazonais o produto foi mais acurado em FMI e menos acurado em BPE seguido por SIN e CAM. Estes resultados podem ser atribuídos à diferença das interações solo-planta-atmosfera entre os sítios. As trocas de energia e massa na FMI são dirigidas majoritariamente pela disponibilidade de água no solo (isto é, precipitação), enquanto que em ambientes de floresta decídua (SIN) e floresta e arbustos sazonalmente alagados (CAM e BPE), as trocas de energia e massa dependem do intervalo de tempo de interesse (isto é, diferentes respostas para diferentes períodos do ano) e envolvem interações ambientais mais complexas entre a radiação solar, disponibilidade de água no solo, período de inundação (para CAM e

BPE) e fenologia do dossel (Vourlitis et al., 2008, 2014; Curado et al., 2014; Rodrigues et al., 2014; Biudes et al., 2014, 2015).

A maior complexidade de fatores que influenciam nas trocas de energia e massa em BPE, SIN e CAM provavelmente diminui a precisão e a exatidão em estimar os parâmetros biofísicos da superfície utilizados como entrada no modelo do produto MOD16A2. Em SIN, por exemplo, a vegetação local perde folhas durante o período seco (Silva et al., 2007), contudo, as taxas de evapotranspiração continuam altas neste período (Biudes et al., 2015). Em CAM o particionamento de energia entre Calor Latente e Sensível é praticamente o mesmo durante todo o ano, mesmo com a redução do fluxo de Calor latente no período seco (Biudes et al., 2015). Além disso, em SIN e CAM o dossel da vegetação possui extratos bem definidos que respondem de maneira diferente às condições ambientais ao longo do ano (Vourlitis et al., 2008; Danelichen et al., 2016). Em SIN, por exemplo, a condutância estomática máxima (luz saturada) entre o dossel superior (20 e 28m de altura) e o dossel médio (12m de altura) respondem em amplitudes diferentes à sazonalidade (Vourlitis et al., 2008). Em CAM o IAF do sub-bosque durante o período seco é significativamente maior que o IAF do bosque no mesmo período e 30% maior que o IAF do sub-bosque do período chuvoso (Biudes et al., 2013). Assim, erros do produto MOD16A2 nestes dois ambientes pode estar diretamente relacionado à eficiência e ineficiência do sensor MODIS em obter imagens da superfície superior e do sub-bosque do dossel, respectivamente, bem como a suas limitações em modelar a ET em ambientes com interações ambientais tão peculiares como esses.

De forma geral a ET_{MODIS} tendeu a superestimar a ET_{Medida} em SIN e subestimar a ET_{Medida} em FMI, BPE e CAM. As sub ou superestimativas da ET_{MODIS} nos ambientes estudados pode estar relacionado à sub ou superestimativa das condutâncias do dossel, bem como da parcela de água evaporada da superfície do solo. A transpiração das plantas é controlada pela condutância do dossel que, por sua vez, representa o status médio da condutância estomática a nível foliar. Assim, alterações na condutância estomática levam a alterações proporcionais na transpiração e, conseqüentemente na ET (Mu et al., 2007). Além disso, em sistemas áridos e semiáridos, semelhante à FMI, a evaporação do solo é uma das principais

componentes da ET (Mu et al., 2007).

Ressalta-se que a ET_{MODIS} atingiu valores próximos a 0 mm 8-dias⁻¹ em FMI, BPE e CAM em setembro (final do período seco) enquanto a ET_{Medida} teve redução menos acentuada. O Déficit de Pressão de Vapor (VPD) atua diretamente nos valores de Condutância estomática, que por sua vez é utilizada para a obtenção da condutância e transpiração do dossel no algoritmo. Neste sentido, o modelo pode estar superestimando a taxa de inibição que o DPV está exercendo sobre o fluxo de água por transpiração da vegetação, uma vez que é justamente em setembro que ocorre os maiores valores de DPV nas três áreas de estudo (Biudes et al., 2015). Em FMI, por exemplo, a sensibilidade da condutância do dossel ao DPV é baixa (Rodrigues et al., 2014). Além disso, o algoritmo assume o completo fechamento dos estômatos durante a noite o que contradiz prévios estudos (Pallardy, 2007, p. 356; Du and Song, 2018). Uma vez que a ET do produto MOD16 é o resultado da soma das ET diurna e ET noturna, essa hipótese pode causar subestimativa da ET, principalmente em ambientes de Savana. Estudos realizados em uma região de Savana no Brasil reportaram que entre 13 a 28% do total diário da perda de água por transpiração na estação seca ocorrem de noite com variações nas condições do DPV (Bucci et al., 2004).

Além das particularidades da interação solo-planta-atmosfera em cada um dos sítios, os erros nas estimativas do produto MOD16A2 também podem ser devido a outros fatores como: dados de entrada do algoritmo, ausência de dados medidos, *footprint* da torre x tamanho do pixel de amostragem e limitações do próprio algoritmo (Ramoelo et al., 2014). Todas essas fontes de erro foram bem documentadas por Mu et al., (2007) no trabalho de formulação e validação do modelo.

Outra possível fonte de erro nas estimativas do produto MOD16A2 pode estar na limitação da classificação do tipo de cobertura do solo pelo produto, e consequentemente, dos parâmetros disponibilizados na Tabela de Pesquisa de Propriedade do Bioma (BPLUT). A BPLUT possui os valores de resistência do dossel relativos à disponibilidade de água e valores de temperatura de acordo com a classificação do uso do solo (Ruhoff et al., 2013). Esta pesquisa foi realizada em

ambientes com características distintas, como é o caso da Floresta de transição (SIN), Cerrado campo sujo (FMI) e áreas de arbustos e floresta sazonalmente alagadas (BPE e CAM). Considerando que os produtos MODIS são projetados em uma escala de grade de 500 m², pode dificultar a obtenção da classificação correta em áreas com vegetação complexa (Mu et al., 2013).

4.4.3 VARIÁVEIS BIOFÍSICAS

De modo geral os valores de precipitação obtido em cada área estão relacionadas as suas características fitofisionômicas e distribuição geográfica. No norte do estado, as altas taxas de evapotranspiração em áreas de floresta associadas a sistemas atmosféricos, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), ocasionam altos índices pluviométricos (Reboita et al., 2010, Alvares et al., 2013, Souza et al., 2013, Pereira et al., 2020). De forma semelhante, áreas de pastagem e agrícolas, apesar de menor evapotranspiração, estão em sua grande parte distribuídas centro-norte do estado e, portanto, sujeitas aos mesmos sistemas atmosféricos que a floresta. Além disso, estudos tem demonstrados que, dependendo do formato da área desmatada, bem como da proporção ocupada por ela em relação a área de floresta adjacente, a conversão de áreas de floresta em pastagem e agrícola podem aumentar a precipitação na região modificada (Lawrence & Vandecar, 2015). Por outro lado, o Cerrado, além de possuir valores de evapotranspiração inferiores a regiões de floresta está distribuído, em sua grande parte, em um gradiente centro-sul ao longo do estado, e portanto, menor influência dos sistemas atmosféricos atuantes na região amazônica e, conseqüentemente, menor precipitação.

As diferenças de EVI observadas entre floresta e as demais áreas estão relacionadas ao tipo de fitofisionomia/superfície óptica encontrada em cada um destes ambientes, uma vez que índices vegetação representam medidas ópticas do verdor do dossel da vegetação, que por sua vez englobam características de clorofila foliar, área foliar, cobertura e arquitetura do dossel (Jiang et al., 2008). Neste sentido, na floresta o sensor orbital visualiza uma superfície majoritariamente preenchida por arvores de grande porte/frondosas com amplo suprimento de água no solo (Biudes et

al., 2015), por outro lado, no Cerrado, pastagem e área agrícola a superfície é composta por vegetação arbustiva, gramíneas e culturas agrícolas que, por consequência, irão conferir menores índices de vegetação nessa região (Fausto et al., 2016; Pavão et al., 2017; Angelini et al., 2017). Um padrão notável do EVI ocorreu na área agrícola na qual o EVI teve queda acentuada e abrupta no mês de fevereiro voltando a subir março. A queda do EVI em fevereiro é causada pela colheita das culturas de ciclo precoce, como a soja, colhida nesse período (Arantes et al., 2016). Contudo, após a colheita da safra normal, ocorre a plantação de culturas como milho e o algodão objetivando o aproveitamento das chuvas para cultivo no mesmo solo, o que explica o aumento do EVI em março. Assim, as respostas sazonais do EVI na área agrícola são resultado da fisiologia da planta e do sistema de manejo humano aplicado (Arantes et al., 2016).

A menor variabilidade e os menores valores anual da Temperatura da superfície (T_s) ocorreram na floresta. Menores amplitudes da T_s na floresta é resultado do efeito termohidroregulador da água presente em maior quantidade tanto na superfície quanto na atmosfera. A água atua como fator moderador da temperatura devido ao seu elevado calor específico, impedindo assim, aumentos e quedas abruptas na temperatura (Andrade et al. 2009). De semelhante modo, menores valores médios anuais de T_s na floresta quando comparado as demais áreas, é função das diferenças no regime hídrico e composição das superfícies presentes nos diferentes ambientes de estudo, que por sua vez irá influenciar no particionamento da energia local disponível. Na floresta a superfície é predominantemente formada por dosséis frondosos com maior disponibilidade hídrica e, portanto, energia utilizada prioritariamente para evapotranspiração (Biudes et al., 2015). Por outro lado, no Cerrado, pastagem e área agrícola a combinação de fatores ambientais e fitofisionômicos, como menor disponibilidade hídrica e menor EVI fazem com que boa parte da energia disponível seja utilizada como fluxo de calor sensível e, consequentemente, maior aquecimento da superfície e do ar adjacente (Biudes et al., 2015, Angelini et al., 2017).

Na floresta a GPP foi superior as demais áreas, contudo, apesar da tendência sazonal, a média da GPP na floresta não diferiu significativamente entre período seco

e chuvoso. O Cerrado, pastagem e área agrícola foram as áreas com maior queda da GPP no período seco. Na estação seca, o GPP nessas áreas atinge valores inferiores a $2 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ devido, provavelmente, à pouca ou nenhuma disponibilidade de água associado a temperaturas elevadas. A fotossíntese é um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao calor, visto que as altas temperaturas foliares têm sido apontadas por muitos autores, como o principal fator que afeta a fixação de carbono nas diversas etapas do processo (Dalmagro, 2011, Hatfield e Dold, 2019). Além disso, entre os meses de junho a setembro em grande parte da área agrícola o solo não é coberto por nenhuma cultura devido ao período denominado “pousio agrícola”. Por outro lado, em locais com ampla disponibilidade hídrica e pouca variação na T_s , como é o caso das florestas ao norte do estado, a redução nos valores de GPP tendem a ser menos acentuada nessa época.

Os maiores valores e menor variabilidade anual ($\sim 11 \text{ mm}$) da Evapotranspiração (ET) foram obtidos na floresta. O sistema radicular eficiente em obter água do lençol freático profundo, o alto vigor vegetativo e/ou Índice de Área Foliar (IAF), associado ao aumento no déficit de pressão de vapor da atmosfera no período seco proporcionam a floresta altas taxas evaporativas durante todo o ano (Vourlitis et al., 2014; Chistoffersen et al., 2014; Biudes et al., 2015; Aguilos et al., 2019; von Randow et al., 2020). Por outro lado, regiões como Cerrado, pastagem e área agrícola, respondem de forma direta à sazonalidade da precipitação, além disso, estão distribuídos em um gradiente norte-sul com totais pluviométricos e, consequentemente, valores de ET menores que em regiões localizadas ao norte do estado (Tian et al., 2010, Chistoffersen et al., 2014, Biudes et al., 2015).

Os maiores valores da Eficiência do uso da água (WUE) ocorreram na floresta e área agrícola, as quais tiveram padrão de WUE inversos entre si no período seco. Os maiores valores nestes dois ambientes estão relacionados às características intrínsecas da vegetação presente em cada área, bem como suas interações com fatores ambientais locais. Na região de floresta a combinação de um maior EVI, menor temperatura superficial associado a um amplo suprimento de água fornecem a vegetação local um ambiente de troca de energia e massa mais estável, o que, em

parte deve explicar os maiores valores anuais de WUE. Semelhantemente, em regiões de cultivo agrícola apesar das altas temperaturas superficiais, fatores como o solo em níveis estruturais e nutricionais adequado, associado a cultivares adaptados as condições ambientais locais, bem como a disponibilidade de água para as culturas durante todo seu ciclo podem promover maior eficiência da cultura na utilização da água. Por outro lado, Cerrado e pastagem, devido ao maior estresse hídrico associado a altas temperaturas e pouco ou nenhum manejo do solo, no caso da pastagem, estão sujeitos a condições ambientais mais estressantes e, portanto, menor WUE.

No período seco a floresta e área agrícola apresentaram uma dinâmica peculiar no padrão de variação da GPP e ET, a qual influenciou diretamente na WUE. Por exemplo, a estabilidade da ET durante todo o ano na floresta não é acompanhada pela GPP, a qual tende a diminuir no período seco, promovendo, por consequência, um decréscimo da WUE. Já na área agrícola, no período seco a área encontra-se em estado de pousio agrícola, e nenhuma cultura é cultivada. Assim, o aumento da WUE no período seco é resultado de uma taxa de redução na ET superior a taxa de redução da GPP devido a ausência de cultura agrícola e presença de restos de cultivos ou gramíneas na superfície e não refletem, necessariamente, a eficiência da cultura local em utilizar a água neste período. Por outro lado, estes resultados podem sugerir também que em cenários extremos de redução de ET e GPP regiões agrícolas possuem maior WUE quando comparado com Cerrado e pastagem.

5 CONCLUSÃO

Com base nos dados de acurácia, os melhores desempenhos na classificação da cobertura da terra foram obtidos com o produto CUT-IBGE quando comparado com MCD12Q1. As maiores dificuldades observadas no processo de classificação e validação dos produtos de cobertura estão relacionadas as limitações de resoluções espaciais, bem como a similaridade entre algumas fitofisionomias presentes no território de Mato Grosso, a exemplo da floresta e o Cerradão, bem como da pastagem e o Cerrado.

Em termos de mudança de cobertura, a floresta e o Cerrado perderam parte de sua cobertura natural entre os anos 2000 e 2016. Estas perdas foram ocasionadas majoritariamente pelo aumento das áreas de pastagem e agrícola, com destaque para a região norte e nordeste do estado.

Na validação do produto de evapotranspiração MOD16A2 os melhores resultados foram obtidos em FMI (região de Cerrado), provavelmente devido a uma dinâmica sazonal da vegetação mais previsível. Por outro lado, SIN, BPE e CAM são ambientes de interações solo-planta-atmosfera mais complexas, o que, provavelmente, limitou a precisão da ET_{MODIS} .

De modo geral, o produto MOD16A2 mostrou ser uma importante alternativa nos estudos de Evapotranspiração em escala local e regional. Os resultados obtidos neste estudo demonstraram a boa capacidade do produto MOD16A2 em estimar a ET em ambientes de transição Floresta Amazônica-Cerrado, Cerrado e Pantanal distribuídos em um gradiente norte sul no estado de Mato Grosso, Brasil.

As variáveis biofísicas analisadas neste estudo responderam de maneira diferente nos quatro ambientes de estudo em 2016. O ambiente de floresta apresentou menores valores de Temperatura superficial e maiores valores anuais de EVI, ET, GPP e WUE, com menores variações sazonais de EVI, Ts, ET e GPP quando comparado com Cerrado, pastagem e área agrícola. Isto demonstra que a floresta desempenha um papel relevante no armazenamento de carbono e fornecimento de água para atmosfera, bem como que a floresta é um ambiente mais estável e menos susceptível a mudanças sazonais abruptas. Por outro lado, ambientes como Cerrado,

pastagem e área agrícola respondem de maneira direta ao regime hídrico, o que sugere que, em cenários mais áridos, estes locais podem sofrer de forma mais severa quando comparado com ambientes de floresta.

De modo geral, nossos resultados demonstram que Cerrado, pastagem e área agrícola possuem padrões de trocas de energia e massa semelhantes ao longo do ano. Isto sugere que o devido manejo de áreas de pastagem e agrícolas associada a preservação de áreas de Cerrado legalmente protegidas poderão coexistir permitindo atender a crescente demanda de alimentos no mundo. Por outro lado, a substituição de áreas de floresta por outras coberturas pode modificar significativamente as interações entre o sistema solo-planta-atmosfera nestes locais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilos, M., Stahl, C., Burban, B., Hérault, B., Courtois, E., Coste, S., ... Bonal, D. (2018). Interannual and Seasonal Variations in Ecosystem Transpiration and Water Use Efficiency in a Tropical Rainforest. *Forests*, 10(1), 14. doi:10.3390/f10010014

Alencar, A.; Shimbo, J. Z.; Lenti, F.; Marques, C. B.; Zimbres, B.; Rosa, M.; Arruda, V.; Castro, I.; Ribeiro, J. P. F. M.; Varela, V.; Alencar, I.; Piontekowski, V.; Ribeiro, V.; Bustamante, M. M. C.; Sano, E. E.; Barroso, M. (2020). Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing*. 12, 924; doi:10.3390/rs12060924

ALLEM, A.C.; VALLS, J.F.M. Recursos forrageiros nativos do Pantanal Mato-Grossense. Brasília: Embrapa/Cernagem, 1987. 339p.

Alvarenga, B. S.; Arco, E.; Adami, M.; Formaggio, A. R. O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do Estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 739-747. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.28.12.35?languagebutton=pt-BR>>. Acesso em: 02 ago. 2010.

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507

Amatya, D.M.; Irmak, S.; Gowda, P.; Sun, G.; Nettles, J.E.; Douglas-Mankin, K.R. (2016). Ecosystem Evapotranspiration: Challenges in Measurements, Estimates, and Modeling. *Transactions of the ASABE*, 59, 555–560, doi:10.13031/trans.59.11808.

AMAZONAS. Governo do Estado. A floresta amazônica e seu papel nas mudanças climáticas / Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Manaus: SDS/CECLIMA. 36p.; il. (Série Técnica Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, n. 18). 2009.

Andrade, n. L. R.; Aguiar, r. G.; Sanches, l.; Alves, É. C. R. F.; Nogueira, J. S. (2009). Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição Amazônia-Cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.3, 346-355.

Angelini, L. P.; Silva, P. C. B. S.; Fausto, M. A.; Machado, N. G.; Biudes, M. S. (2017). Balanço de Energia nas Condições de Mudanças de Uso do Solo na Região Sul do Estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, 353-363. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863230003>

Arantes, A. E., Ferreira, L. G., & Coe, M. T. (2016). The seasonal carbon and water balances of the Cerrado environment of Brazil: Past, present, and future influences of

land cover and land use. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117, 66–78. doi:10.1016/j.isprsjprs.2016.02.008

Arieira, J., & Cunha, C. N. da. (2006). Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 20(3), 569–580. doi:10.1590/s0102-33062006000300007

Arima, E. Y., Barreto, P., Araújo, E., & Soares-Filho, B. (2014). Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. *Land Use Policy*, 41, 465–473. doi:10.1016/j.landusepol.2014.06.026

Arvor, D., Daugeard, M., Tritsch, I., De Mello-Thery, N. A., Thery, H., & Dubreuil, V. (2016). Combining socioeconomic development with environmental governance in the Brazilian Amazon: the Mato Grosso agricultural frontier at a tipping point. *Environment, Development and Sustainability*, 20(1), 1–22. doi:10.1007/s10668-016-9889-1

Arvor, D.; Silgueiro, V.; Nunes, G. M.; Nabucet, J.; A. P. Dias. (2021). The 2008 map of consolidated rural areas in the Brazilian Legal Amazon state of Mato Grosso: Accuracy assessment and implications for the environmental regularization of rural properties. *Land Use Policy* 103 (2021) 105281. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105281>

Asrar, G., and Dokken, D.J. (1993). *EOS Reference Handbook* (Greenbelt; MD: NASA).

BALBINOT, R. ; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALE-RIO, Á. F. O papel da fl oresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V. 4 N. 1 Jan./Abr. 2008.

Baldocchi, D., Chu, H., & Reichstein, M. (2018). Inter-annual variability of net and gross ecosystem carbon fluxes: A review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 249, 520–533. doi:10.1016/j.agrformet.2017.05.015

Banko, G. (1998). A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data and of Methods Including Remote Sensing Data in Forest Inventory. International Institute for Applied Systems Analysis. INTERIM REPORT IR-98-081 / November. 43p.

Bazame, H. C., Althoff, D., Filgueiras, R., Calijuri, M. L., & Oliveira, J. C. de. (2019). Modeling the Net Primary Productivity: A Study Case in the Brazilian Territory. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. doi:10.1007/s12524-019-01024-3

BECKER, B.; SAWYER, D.; OLIVEIRA, F.; SMERALDI, R.; ZACCA, E.; REZENDE, F. plano Amazônia sustentável – PAS volume 1 diagnóstico e estratégia.

Ministério da integração nacional e ministério do meio ambiente. Brasília, Abril, 113p. 2004.

Beer, C., Ciais, P., Reichstein, M., Baldocchi, D., Law, B. E., Papale, D., ... Wohlfahrt, G. (2009). Temporal and among-site variability of inherent water use efficiency at the ecosystem level. *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2), n/a–n/a. doi:10.1029/2008gb003233

Belward, A.S., Estes, J.E., Kline, K.D., 1999. The IGBP-DIS global 1-km land-cover data set DISCover: a project overview. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 65 (9), 1013–1020.

Berry, J. A., Beerling, D. J., & Franks, P. J. (2010). Stomata: key players in the earth system, past and present. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(3), 232–239. doi:10.1016/j.pbi.2010.04.013

Beuchle, R., Grecchi, R. C., Shimabukuro, Y. E., Seliger, R., Eva, H. D., Sano, E., & Achard, F. (2015). Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, 58, 116–127. doi:10.1016/j.apgeog.2015.01.017

Biudes, M. S. ; Vourlitis, G. L.; Velasque, M. C. S.; Machado, N. G.; Danelichen, V. H. M.; Pavão, V. M.; Arruda, P. H. Z.; Nogueira, J. S. (2021). Gross primary productivity of Brazilian Savanna (Cerrado) estimated by different remote sensing-based models. *Agricultural and Forest Meteorology* 307 (2021) 108456 . <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108456>.

Biudes, M. S., Machado, N. G., Danelichen, V. H. de M., Souza, M. C., Vourlitis, G. L., & Nogueira, J. de S. (2013). Ground and remote sensing-based measurements of leaf area index in a transitional forest and seasonal flooded forest in Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 58(6), 1181–1193. doi:10.1007/s00484-013-0713-4

Biudes, M. S., Vourlitis, G. L., Machado, N. G., de Arruda, P. H. Z., Neves, G. A. R., de Almeida Lobo, F., ... de Souza Nogueira, J. (2015). Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, 112–124. doi:10.1016/j.agrformet.2014.12.008

Biudes, M.S., Campelo Júnior, J.H., Nogueira, J.S., Sanches, L., 2009. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. *Rev. Bras. Meteorol.* 24 (2), 135–143, <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862009000200003>.

Biudes, M.S., Souza, M.C., Machado, N.G., Danellichen, V.H.M., Vourlitis, G.L., Nogueira, J.S., (2014). Modelling gross primary production of a tropical semi-deciduous forest in the southern Amazon Basin. *Int. J. Remote Sens.* 35 (4), 1540–1562. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.878059>.

Bogoliubova, A.; Tymków, P. (2014). ACCURACY ASSESSMENT OF AUTOMATIC IMAGE PROCESSING FOR LAND COVER CLASSIFICATION OF ST. PETERSBURG PROTECTED AREA. *Acta Sci. Pol., Geodesia et Descriptio Terrarum* 13 (1-2), 5-22

Bonanomi, J., Tortato, F. R., Santos, R., Penha, J. M., Bueno, A. S., & Peres, C. A. (2019). Protecting forests at the expense of native grasslands: Land-use policy encourages open-habitat loss in the Brazilian cerrado biome. *Perspectives in Ecology and Conservation*. doi:10.1016/j.pecon.2018.12.002

Boschetti, L., Flasse, S. P., & Brivio, P. A. (2004). Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution dichotomic thematic products: The Pareto Boundary. *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4), 280–292. doi:10.1016/j.rse.2004.02.015

Brandão, A.S.P., Rezende, G.Cde, Marques, R.Wda C., 2006. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. *Econ. Apl.* 10, 249–266.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.. Congresso Nacional, Brasília, 25 de maio de 2012. Disponível em <<http://www.planalto.gov.br/>>. Acesso em 16 de junho de 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) : fase 2016-2020 / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudança do Clima e Florestas, Departamento de Florestas e Combate ao Desmatamento. – Brasília, DF : MMA, 2018.

Bucci, S.J.; Scholz, F.G.; Goldstein, G.; Meinzer, F.C.; Hinojosa, J.A.; Hoffmann, W.A.; Franco, A.C. Processes preventing nocturnal equilibration between leaf and soil water potential in tropical savanna woody species. *Tree Physiology* 2004, 24, doi:10.1093/treephys/24.10.1119.

CADAVID GARCIA, E.A. O clima no Pantanal Mato-grossense. Corumbá: EMBRAPA-UEPAE de Corumbá, 1984. 39p. (EMBRAPA-UEPAE de Corumbá. Circular técnica, 14).

CAMPOS, M. T.; HIGUCHI, F. G. A Floresta Amazônica e seu papel nas mudanças climáticas - Série Técnica Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Secretária de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Manaus: SDS/CECLIMA, 36p. 2009.

Chaddad, F. (2016). Agriculture in the Cerrado. The Economics and Organization of Brazilian Agriculture, 111–145. doi:10.1016/b978-0-12-801695-4.00005-7

Chen, L., & Dirmeyer, P. A. (2017). Impacts of Land-Use/Land-Cover Change on Afternoon Precipitation over North America. *Journal of Climate*, 30(6), 2121–2140. doi:10.1175/jcli-d-16-0589.1

Christoffersen, B. O., Restrepo-Coupe, N., Arain, M. A., Baker, I. T., Cestaro, B. P., Ciais, P., ... Saleska, S. R. (2014). Mechanisms of water supply and vegetation demand govern the seasonality and magnitude of evapotranspiration in Amazonia and Cerrado. *Agricultural and Forest Meteorology*, 191, 33–50. doi:10.1016/j.agrformet.2014.02.008

Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46. doi:10.1016/0034-4257(91)90048-b

Congalton, R. G. and Green, K. (2009). *ASSESSING THE ACCURACY OF REMOTELY SENSED DATA: PRINCIPLES AND PRACTICES*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2009. ISBN 978 1 4200 5512 2. 241 · 160 mm. xvi + 184 pages.

Coutinho, L. M. (2006). O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica*, 20(1), 13–23. doi:10.1590/s0102-33062006000100002

COUTINHO, L.M. O conceito de Cerrado. *Revista brasileira de Botânica*, 1:17-23, 1978.

Cunha, A. P. M. A., Alvalá, R. C. S., Kubota, P. Y., & Vieira, R. M. S. P. (2014). Impacts of land use and land cover changes on the climate over Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, 16(3), 219–227. doi:10.1002/asl2.543

Curado, L. , Nogueira, J. , Sanches, L. , Rodrigues, T. , Lobo, F. and Biudes, M. (2014) Inter Seasonality of the Energy Fluxes in Brazilian Savana—Mato Grosso—Brazil. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, 219-230. doi: 10.4236/acs.2014.42025.

Dalmagro, J.H.; Lobo, F. A.; Ortíz, C.E.R.; Biudes, M.S.; Nogueira, J.S.; Vourlitis, G.L.; Pinto Junior, O.B. (2011). Trocas gasosas de uma espécie Lenhosa na floresta de transição amazônia - cerrado. *Ciência e Natura*, v.33, n.2, 147-165.

Da Silva, V. de P. R., da Silva, B. B., Albuquerque, W. G., Borges, C. J. R., de Sousa, I. F., & Neto, J. D. (2013). Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in Brazil. *Agricultural Water Management*, 128, 102–109. doi:10.1016/j.agwat.2013.06.00

Danielichen, V.H. de M.; Biudes, M.S.; Souza, M.C.; Machado, N.G.; Nogueira, J. de S. Relations of vegetation and water indices to volumetric soil water content in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *International Journal of Remote Sensing* 2016, 37, 4261–4275, doi:10.1080/01431161.2016.1213921.

Dias, L. C. P., Macedo, M. N., Costa, M. H., Coe, M. T., & Neill, C. (2015). Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 108–122. doi:10.1016/j.ejrh.2015.05.010

Diniz, C. G., Souza, A. A. A., Santos, D. C. et al. (2015) DETER-B: The new Amazon near real-time deforestation detection system. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8, n. 7. doi:10.1109/JSTARS.2015.2437075

Domingues, A.N.; Abreu, J.G.; Caneppele, C.; Reis, R.H.P.; Neto, A.B.; Almeida, C.M. Agronomic characteristics of corn hybrids for silage production in the State of Mato Grosso. Brazil. *Acta Scientiarum* 2013, 35, 7–12, doi:10.4025/actascianimsci.v35i1.15592.

Du, J.; Song, K. Validation of Global Evapotranspiration Product (MOD16) Using Flux Tower Data from Panjin Coastal Wetland, Northeast China. *Chinese Geographical Science* 2018, 28, 420–429, doi:10.1007/s11769-018-0960-8.

Dubreuil, V.; Bariou, R.; Passos, M.; Ferrand, R.; Nédélec, V. (2005). Evolução da fronteira agrícola no centro-oeste de Mato Grosso: municípios de Tangará da Serra, Campo Novo do Parecis e Diamantino. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 22, n. 2, p. 463-478, maio/ago.

Efron, B., Tibshirani, R., 1993. *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall, New York.

Eltahir, E.A.B., Bras, R.L. Sensitivity of regional climate to deforestation in the Amazon basin. *Advances in Water Resources*, v. 17, p. 101-115, 1994.

EPIPHANIO, J. C. N. Satélites de sensoriamento remoto. INPE-8984-pud/62. Capítulo 2. São José dos Campos. 2002.

Fanin, T.; van der Werf, G. R. (2015). Relationships between burned area, forest cover loss, and land cover change in the Brazilian Amazon based on satellite data. *Biogeosciences*, 12, 6033–6043. doi:10.5194/bg-12-6033-2015

Fantin-Cruz, I., Loverde-Oliveira, S., & Girard, P. (2008). Caracterização morfométrica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 30(2). doi:10.4025/actascibiolsci.v30i2.3628

Fausto, M. A.; Angelini, L. P.; Marques, H. O.; Filho, A. S.; Machado, N. G.; Biudes, M. S. (2016). Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. *Rev. Ambient. Água* vol. 11 n. 2 Taubaté – Apr. / Jun.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. *MEGADIVERSIDADE* | Volume 1 | Nº 1 | Julho. 11p. 2005.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica*. VOL. 36(3), 395 – 400. 2006.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, São Paulo, v. 01, n. 1, p. 15-28. 2005.

FERREIRA, IDELVONE MENDES. O afogar das veredas: uma análise comparativa espacial e temporal das veredas do Chapadão de Catalão (GO). 2003. 242 f. Tese (Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro – SP. 2003.

Fielding, a. H., & Bell, j. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24(1), 38–49. doi:10.1017/s0376892997000088

FIGUEIREDO, D. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. CONAB. Setembro de 2005

FILHO, A. C.; SOUZA, O. B. Atlas de Pressões e Ameaças às Terras Indígenas na Amazônia Brasileira, Série Cartô Brasil socioambiental, ISA (instituto socioambiental), São Paulo, novembro. 48p. 2009.

Fisher, R.A.; Williams, M.; Costa, A.L.; Malhi, Y.; Costa, R.F.; Almeida, S.; Meir, P.W. The response of an Eastern Amazonian rainforest to drought stress: results and modelling analyses from a through-fall exclusion experiment. *Glob. Change Biol* 2007, 13, 1–8, doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01417.x.

Friedl, M.A.; McIver, D.K.; Hodges, J.C.F.; Zhang, X.Y.; Muchoney, D.; Strahler, A.H.; Woodcock, C.E.; Gopal, S.; Schneider, A.; Cooper, A.; Baccini, A.; Gao, F.; Schaaf ,C. 2002. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment* 83 287–302.

GALVÃO, J. A. C.; FISCH, G. Balanço de energia em áreas de floresta e de pastagem na Amazônia (JI – Paraná, RO). *Revista Brasileira de Meteorologia (RBMET)*, v.15, n.2,25-37, 13pg. 2000.

GALVÍNCIO, J. D.; CORRÊA, A. C. B.;ARAÚJO, M. S. B. determinação do albedo no município de Belém do São Francisco, com base em imagens Landsat 7. *Revista de Geografia (Recife)*, Vol. 23, Nº 3. 2006.

Gollnow, F., & Lakes, T. (2014). Policy change, land use, and agriculture: The case of soy production and cattle ranching in Brazil, 2001–2012. *Applied Geography*, 55, 203–211. doi:10.1016/j.apgeog.2014.09.003

Gollnowa, F.; Hissaa,L. B. V.; Rufina, P.; Lakesa ,T. 2018. Property-level direct and indirect deforestation for soybean production in the Amazon region of Mato

Grosso, Brazil. Land Use Policy 78, 377–385.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.010>

Gomis-Cebolla, J.; Jimenez, J.C.; Sobrino, J.A.; Corbari, C.; Mancini, M. (2019). Intercomparison of remote-sensing based evapotranspiration algorithms over amazonian forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 280–294, doi:10.1016/j.jag.2019.04.009.

Grecchi, R. C.; Gwynn, Q. H. J.; Béné, G. B.; Formaggioli, A. R.; Fahl, F. C. 2014. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. *Applied Geography* 55, 300–312. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.09.014>

Hatfield, J. L. e Dold, C. (2019). Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. *Frontiers in Plant Science*. Volume 10. doi: 10.3389/fpls.2019.00103

Heinsch, F.A.; Reeves, M.C.; Votava, P.; Kang, S.; Milesi, C.; Zhao, M. User's guide: GPP and NPP (MOD17A2/A3) products, NASA MODIS land algorithm; The University of Montana: Missoula, MT, 2003;

Hu, S.; Zhao, C.; Li, J.; Wang, F.; Chen, Y. Discussion and reassessment of the method used for accepting or rejecting data observed by a Bowen ratio system. *Hydrol. Process* 2013, doi:10.1002/hyp.9962.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1990). Divisão do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões geográficas. Diretoria de Geociências – DGC/ Departamento de Geografia – DEGEO. Rio de Janeiro, 137p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil: 2014 – 2016. 332.3(81)-M744m. Rio de Janeiro. 29p. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101625.pdf>>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). IBGE Cidades. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/pesquisa/18/16459>>.

IBGE, Amazônia 2009 áreas protegidas y territorios indígenas, Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE), 4p.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2019). Normas Climatológicas do Brasil (1981 a 2010). Disponível em < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2019). Plataforma TerraBrasilis. Prodes desmatamento. Disponível em <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/increments>.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2008a. Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites: Sistemas Prodes, Deter, Degrad e Queimadas 2007-2008. São José dos Campos, 10 de dezembro. 47p. Disponível em <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/relatorio_prodes2008.pdf>.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2008b. Relatório técnico científico. Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites. São José dos Campos, 10 de dezembro. 143p. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/relatorio_prodes2008.pdf>.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2019. Metodologia utilizada nos Projetos PRODES e DETER. Acesso em 2019. Disponível em <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/Metodologia_Prodes_Deter_revisada.pdf>.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA E DEMAIS BIOMAS. Desmatamento – Amazônia Legal – Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 22 julho. 2021.

INPE PRODES—Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia (2021); <http://www.obt.inpe.br/prodes>.

INPE PRODES—Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia (2021); <http://www.obt.inpe.br/prodes>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2004. Mapas de biomas do Brasil. Rio de Janeiro. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=downloads>> . Acesso em 09 de março de 2021.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação geral de observação da terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas. Avisos – Bioma Cerrado – Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 10 jun. 2019.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação geral de observação da terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas. Desmatamento – Amazônia Legal – Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 05 jan. 2019.

Ivo, i. O.; Biudes, m. S.; Machado, n. G.; V. M. Pavão. (2018). Influência do desmatamento no índice de área foliar e temperatura da superfície no Cerrado mato-grossense. Nativa, Sinop, v. 6, n. 4, p. 364-369, jul./ago. 2018.DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i4.5367>

Jiang, Z., Huete, A., Didan, K., & Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3833–3845. doi:10.1016/j.rse.2008.06.006

Junk, W.J.; Bayley, P.B. & Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in river - floodplain systems. Pp. 110-127. In: D.P. Dodge (ed.). *Proceedings International Large River Symposium (LARS)*, Can Sepc. Publ. Fish Aquat. Sci. 106: 110-127.

JUNK, W.J.; BROWN, M.; CAMPBELL, I.C.; FINLAYSON, M.; GOPAL, B.; RAMBERG, L. & WARNER, B.G. 2006. The comparative biodiversity of seven globally important wetlands: A synthesis. *Aquatic Sciences* 68 (3): 400-414.

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

Justice, C.O., Vermote, E., Townshend, J.R.G., Defries, R., Roy, D.P., Hall, D.K., Salomonson, V.V., Privette, J.L., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, R.B., Knyazikhin, Y., Running, S.W., Nemani, R.R., Wan, Z.M., Huete, A.R., van Leeuwen, W., Wolfe, R.E., Giglio, L., Muller, J.P., Lewis, P., & Barnsley, M.J. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1228-1249

Justice,C.O.; Townshend, J.R.G.; Vermote,E.F.; Masuoka,E.; Wolfe,R.E.; Saleous,N.; Roy,D.P.; Morisette,J.T.(2002). An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment* 83, 3–15.

Keenan, T. F., Hollinger, D. Y., Bohrer, G., Dragoni, D., Munger, J. W., Schmid, H. P., & Richardson, A. D. (2013). Increase in forest water-use efficiency as atmospheric carbon dioxide concentrations rise. *Nature*, 499(7458), 324–327. doi:10.1038/nature12291

Kintisch. E. (2007). Improved Monitoring of Rainforests Helps Pierce Haze of Deforestation. *Science*. 27 April. Vol 316.

KIRK, G. *The Biogeochemistry of Submerged Soils*. John Wiley & Sons, Chichester, 2004.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. *Megadiversidade*. Volume 1. Nº 1. Julho. 9p. 2005.

Klink, C.A., Machado, R.B., 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conserv. Biol.* 19:707–713. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702>.

La Rovere EL, Pereira AS, Simões AF. 2011. Biofuels and sustainable energy development in Brazil. *World Development* 39(6): 1026–1036. DOI: 10.1016/j.worlddev.2010.01.004

Lawrence, D., & Vandekar, K. (2015). Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature Climate Change*, 5(1), 27–36. doi:10.1038/nclimate2430

Liang, D., Zuo, Y., Huang, L., Zhao, J., Teng, L., & Yang, F. (2015). Evaluation of the Consistency of MODIS Land Cover Product (MCD12Q1) Based on Chinese 30 m GlobeLand30 Datasets: A Case Study in Anhui Province, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2519–2541. doi:10.3390/ijgi4042519

LIBERATO, A. M. albedo à superfície a partir de imagens landsat 5 – tm em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. *Revista de Geografia (UFPE)* V. 28, No. 1. 10p. 2011.

Liu, X., Feng, X., & Fu, B. (2020). Changes in global terrestrial ecosystem water use efficiency are closely related to soil moisture. *Science of The Total Environment*, 134165. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134165

Loarie, S. R., Lobell, D. B., Asner, G. P., Mu, Q., & Field, C. B. (2011). Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. *Nature Climate Change*, 1(2), 105–109. doi:10.1038/nclimate1067

Liu, Y., & Song, W. (2019). Modelling crop yield, water consumption, and water use efficiency for sustainable agroecosystem management. *Journal of Cleaner Production*, 119940. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119940

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (2021). AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 22 julho. 2021.

Masuoka, E., Fleig, A., Wolfe, R. E., & Patt, F. (1998). Key characteristics of MODIS data products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1313–1323. doi:10.1109/36.701081

McCallum, I., Obersteiner, M., Nilsson, S., & Shvidenko, A. (2006). A spatial comparison of four satellite derived 1km global land cover datasets. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), 246–255. doi:10.1016/j.jag.2005.12.002

Mello, N. G. R. de, & Artaxo, P. (2017). Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. *Revista Do Instituto de Estudos Brasileiros*, (66), 108. doi:10.11606/issn.2316-901x.v0i66p108-129

Ministério do Meio Ambiente (mma). Controle e Prevenção do Desmatamento, (2019). <http://combateaodesmatamento.mma.gov.br>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação. Brasília: MMA, 540 p.: il. color. (Série Biodiversidade 17). 2007.

Monteith, J.L. Evaporation and environment. Symposium of the society of experimental biology 1965, 19, 205–224.

Moore, C.J.; Fisch, G. Estimating heat storage in Amazonian tropical forest. *Agric. For. Meteorol* 1986, 38.

MORAES, E. C. fundamentos de sensoriamento remoto. inpe-8984-pud/62. Capítulo 1. José dos Campos. 23p. 2002.

Moreira, A. A.; Adamatti, D. S.; Ruhof, A. L. (2018). Avaliação dos produtos de evapotranspiração baseados em sensoriamento remoto MOD16 e GLEAM em sítios de fluxos turbulentos do Programa LBA. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v.40, Edição Especial: X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, p. 112 – 118. DOI:10.5902/2179460X30714

Morgan, W. T.; Darbyshire, E.; Spracklen, D.V.; Artaxo, P.; Coe, H. (2019). Non-deforestation drivers of fires are increasingly important sources of aerosol and carbon dioxide emissions across Amazonia. *Nature, Scientific Reports* | (2019) 9:16975 | <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53112-6>

Mu, Q.; Heinsch, F.A.; Zhao, M.; Running, S.W. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of Environment* 2007, v. 111, 519–536.

Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S.W. (2013). In MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3). Algorithm Theoretical Basis Document. Collection 5. NASA Headquarters; p. 66.

Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S.W. (2011). Improvements to MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, 1781–1800.

NASA. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). (2017). README Document for the Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) Version 7. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, USA, 70p.

Nascimento, A. P. P.; Figueiredo, A. M. R.; Miranda, P. R. (2018). Dimensão do PIB do agronegócio na economia de Mato Grosso. *Ensaio FEE*, Porto Alegre, v. 38, n. 4, p. 903-930.

Nobre, A. D. Afinal de contas, o Bioma Amazônico é sumidouro ou é fonte de carbono para a atmosfera?. INPE, Boletim do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) - Ano 4 - Nº 08 - Junho. 4p. 2002.

Nobre, C. A., & Nobre, A. D. (2002). O balanço de carbono da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, 16(45), 81–90. doi:10.1590/s0103-40142002000200006

Nunes da Cunha, C.; Junk, W. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. *Applied Vegetation Science* 2004, 7, 103–110.

Pallardy, S.G. (2007) *Physiology of Woody Plants*. Academic Press, Waltham.

Pavão, V. M., Biudes, M. S., Querino, C. A. S., Machado, N. G., Pavão, L. L., & E Silva, P. C. B. da S. (2018). SURFACE SOLAR RADIATION IN A TROPICAL AREA ESTIMATED FROM DIFFERENT MODELS. *Revista Brasileira de Climatologia*, 23. doi:10.5380/abclima.v23i0.51149

Pavão, V. M., Nassarden, D. C. S., Pavão, L. L., Machado, N. G., & Biudes, M. S. (2017). Impacto da Conversão da Cobertura Natural em Pastagem e Área Urbana sobre Variáveis Biofísicas no Sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(3), 343–351. doi:10.1590/0102-77863230002

Pavão, V.M.; Querino, C.A.S.; Beneditti, C.A.; Pavao, L.L.; Querino, J.K.A.S. et al. Temperatura e albedo da superfície por imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do solo no Sudoeste da Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 16, p. 169-183, 2015.

Pavão, V.M.; Querino, C.A.S.; Beneditti, C.A.; Pavao, L.L.; Querino, J.K.A.S. et al. Variação espacial e temporal do saldo de radiação superficial em uma área do sul do Amazonas, brasil. *Revista Ra'ega*, v. 37, p. 333-352, 2016.

Pavão, V.M.; Querino, C.A.S.; Querino, J.K.A.S.; Martins, P.A.S.; Siqueira, L.F. et al. Análise da radiação solar global (Rg) e albedo superficial sobre um ecossistema de Floresta nativa em Humaitá AM durante o período chuvoso. *Revista EDUCAmazônia - Educação, Sociedade e Meio Ambiente*, v. 12, p. 42-56, 2014.

Penha, j.m., da Silva, c.j. & Bianchini, i. 1999. Productivity of the aquatic macrophytes *Pontederia lanceolata* Nutt. (Pontederiaceae) on the floodplains of the Pantanal Mato-grossense, Brazil. *Wetland Ecology and Management* 7: 155-163.

Pereira, g.; Moraes, e. C.; Arai, e.; Oliveira, l. G. L. estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. *Revista Brasileira de Cartografia* No 59/01,Abril. (ISSN1808-0936). 7p. 2007.

Pereira, P., Martha, G. B., Santana, C. A., & Alves, E. (2012). The development of Brazilian agriculture: future technological challenges and opportunities. *Agriculture & Food Security*, 1(1), 4. doi:10.1186/2048-7010-1-4

Pereira, T. D.; Santos, B. C.; Neves, G. Z. F. (2020). Variabilidade pluviométrica do estado do Mato Grosso na série temporal de 1998 a 2017. *revista geonorte*, v.11, n. 37, p. 39-56, 2020

Perez, P.J.; Castellvi, F.; Ibanez, M.; Rosell, J.I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology* 1999, 97, 141–150, doi:10.1016/S0168-1923(99)00080-5.

Perugini, L., Caporaso, L., Marconi, S., Cescatti, A., Quesada, B., de Noblet-Ducoudré, N., ... Arneth, A. (2017). Biophysical effects on temperature and

precipitation due to land cover change. *Environmental Research Letters*, 12(5), 053002. doi:10.1088/1748-9326/aa6b3f

Picoli, M. C. A., Rorato, A., Leitão, P., Camara, G., Maciel, A., Hostert, P., & Sanches, I. D. (2020). Impacts of Public and Private Sector Policies on Soybean and Pasture Expansion in Mato Grosso—Brazil from 2001 to 2017. *Land*, 9(1), 20. doi:10.3390/land9010020

PONNAMPERUMA, F.N. 1972. The chemistry of submerged soil. *Advances in Agronomy* 24: 29-96.

Pott, A., & Pott, V. J. (2004). Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. *Wetlands Ecology and Management*, 12(6), 547–552. doi:10.1007/s11273-005-1754-1

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zênital na região Amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia (RBMET)*, v.21, n.3a, 42-49. 2006.

Radambrasil Levantamentos dos Recursos Naturais Ministério das Minas de Energia. In Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD 21 Cuiabá; Rio de Janeiro, Brazil, 1982.

Ramoelo, A.; Majozi, N.; Mathieu, R.; Jovanovic, N.; Nickless, A.; Dzikiti, S. Validation of Global Evapotranspiration Product (MOD16) using Flux Tower Data in the African Savanna, South Africa. *Remote Sensing* 2014, v. 6, 7406–7423.

Reboita, M. S., Gan, M. A., Rocha, R. P. da, & Ambrizzi, T. (2010). Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2), 185–204. doi:10.1590/s0102-77862010000200004

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, 185 - 204, 2010.

Redo, D., Aide, T. M., & Clark, M. L. (2013). Vegetation change in Brazil's dryland ecoregions and the relationship to crop production and environmental factors: Cerrado, Caatinga, and Mato Grosso, 2001–2009. *Journal of Land Use Science*, 8(2), 123–153. doi:10.1080/1747423x.2012.6674

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. (2012). Campo sujo. EMBRAPA – Bioma cerrado. Acesso em < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_49_911200585233.html>. 2012.

Ribeiro, j. F.; Walter, b. M. T. Fitofitofisionomia do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.) Cerrado: ambiente e flora. Brasília: Embrapa, 1998. p.89-166.

RIVERO, S. ALMEIDA, ORIANA. ÁVILA, SAULO. OLIVEIRA, WESLEY. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. Nova Economia-Belo Horizonte_19 (1)_41-66_janeiro-abril. 2009.

Rodrigues, T.R.; Vourlitis, G.L.; Lobo, F.A.; Oliveira, R.G.; Nogueira, J.S. (2014). Seasonal variation in Energy balance and canopy conductance for a tropical savanna ecosystem of south central Mato Grosso. Brazil. Journal Of Geophysical Research: Biogeosciences, VOL. 119, 1–13, doi:10.1002/2013JG002472.

Rodrigues, T.R.; Vourlitis, G.L.; Lobo, F.A.; Santanna, F.B.; Arruda, P.H.Z.; Nogueira, J.S. (2016) Modeling canopy conductance under contrasting seasonal conditions for a tropical savanna ecosystem of south central Mato Grosso. Brazil. Agricultural and Forest Meteorology, 218–219,218–229, doi:10.1016/j.agrformet.2015.12.060.

Ruhoff, L.; Paz, A.R.; Aragao, L.E.O.C.; Mu, Q.; Malhi, Y.; Collischonn, W.; Rocha, H.R.; Running, S.W. Assessment of the MODIS global evapotranspiration algorithm using eddy covariance measurements and hydrological modelling in the Rio Grande basin. Hydrological Sciences Journal 2013, 58, 1–19.

Running, S.W., Justice, C.O., Salomonson, V., Hall, D., Barker, J., Kaufmann, Y.J., Strahler, A.H., Huete, A.R., Muller, J.P., Vanderbilt, V., Wan, Z.M., Teillet, P., & Carneggie, D. (1994). TERRESTRIAL REMOTE-SENSING SCIENCE AND ALGORITHMS PLANNED FOR EOS MODIS. International Journal of Remote Sensing, 15, 3587-3620

Running, S.W.; Mu, Q.; Zhao, M.; Moreno, A. (2019). User's Guide. MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (MOD16A2/A3 and Year-end Gap-filled MOD16A2GF/A3GF) NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm, 2, 36.

Running, S.W.; Thornton, P.E.; Nemani, R.R.; Glassy, J.M. Global terrestrial gross and net primary productivity from the Earth Observing System. In Methods in ecosystem science; Sala, O., Jackson, R., Mooney, H., Eds.; Springer–Verlag: New York, 2000; p. 44 57.

SALATI, E.; SANTOS, Â. A.; KLABIN, I. Temas ambientais relevantes, Scielo-ESTUDOS AVANÇADOS 20 (56), p. 107 – 127. 2006.

Spracklen, D. V., Arnold, S. R., & Taylor, C. M. (2012). *Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests*. *Nature*, 489(7415), 282–285. doi:10.1038/nature11390

Salis, S.M.; Lehn, C.R.; Mattos, P.P.; Bergier, I.; Crispim, S.M.A. Root behavior of savanna species in Brazil's Pantanal wetland. Global Ecology and Conservation 2016, 2, 378–384, doi:10.1016/j.gecco.2014.10.009.

SANTOS, M. A.; BARBIERI, A. F.; CARVALHO, J. A. M.; MACHADO, C. J. O Cerrado brasileiro: notas para estudo. Universidade Federal do Mato Grosso (UFMG)/CEDEPLAR, Junho. 15p. 2010.

Santos, S.A., da Cunha, C.N., Tomás, W., de Abreu, U.G.P., Arieira, J., 2006. Plantas Invasoras no Pantanal: Como Entender o Problema e Soluções de Manejo por Meio de Diagnóstico Participativo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 66, Embrapa Pantanal, Corumbá, MS, Brasil., pp. 45.

SAUSEN, T. Sensoriamento Remoto/ Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas. INPE-13139-PRE/8398. São José dos Campos, 2005.

Schallenger, E., & Schneider, I. E. (2010). Fronteiras agrícolas e desenvolvimento territorial: ações de governo e dinâmica do capital. *Sociologias*, 12(25), 202–222. doi:10.1590/s1517-45222010000300008

Seidl, A. F., Silva, J. dos S. V. de, & Moraes, A. S. (2001). Cattle ranching and deforestation in the Brazilian Pantanal. *Ecological Economics*, 36(3), 413–425. doi:10.1016/s0921-8009(00)00238-x

Shao, Y., G. N. Taff, AND R. S. LUNETTA. A Review of Selected MODIS Algorithms, Data Products, and Applications. Chapter 2, Q. Weng (ed.), *Advances in Remote Sensing*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, , 556, (2011).

Silva, C. J.; Sanches, L.; Bleich, M. E.; Lobo, F. A.; Nogueira, J. S. (2007) Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. *Acta Amaz.* 37 (4). <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000400009>

Silva, r.w.c.; de Paula, b.l. (2009). Causa do aquecimento global: antropogênica vs. natural. *Terra e Didática*, v. 5, n. 1, p. 42-4.

Santos, c.a.c.; Wanderley, r.l.n.; Araújo, a.l.; Bezerra, b.g. Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e Floresta na Amazônia (estação seca) através do sensor MODIS. *Revista brasileira de meteorologia*, v. 29, n. 3, p. 420-432, 2014.

Silva, C. A., & Lima, M. (2018). Soy Moratorium in Mato Grosso: Deforestation undermines the agreement. *Land Use Policy*, 71, 540–542. doi:10.1016/j.landusepol.2017.

Souza e Silva, R.; Paes, A. T. Por dentro da estatística. (2012). *Educ Contin Saúde einstein*. 10(4):165-6

Souza, A. P.; Mota, L. L.; Zamadei, T.; Martim, C. C.; Almeida, F. T.; Paulino, J. (2013). Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa, Sinop*, v. 01, n. 01, p.34-43.

Souza, J. P., Melo, N. M. J., Halfeld, A. D., Vieira, K. I. C., & Rosa, B. L. (2019). Elevated atmospheric CO₂ concentration improves water use efficiency and growth of a widespread Cerrado tree species even under soil water deficit. *Acta Botanica Brasilica*. doi:10.1590/0102-33062018abb0272

Souza, M. C., Biudes, M. S., Danelichen, V. H. de M., Machado, N. G., Musis, C. R. de, Vourlitis, G. L., & Nogueira, J. de S. (2014). Estimation of gross primary production of the Amazon-Cerrado transitional forest by remote sensing techniques. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(1), 01–12. doi:10.1590/s0102-77862014000100001

Spera, S. (2017). Agricultural Intensification Can Preserve the Brazilian Cerrado: Applying Lessons From Mato Grosso and Goiás to Brazil's Last Agricultural Frontier. *Tropical Conservation Science*, 10, 194008291772066. doi:10.1177/1940082917720662

Sulla-Menashe, D., Gray, J. M., Abercrombie, S. P., & Friedl, M. A. (2019). Hierarchical mapping of annual global land cover 2001 to present: The MODIS Collection 6 Land Cover product. *Remote Sensing of Environment*, 222, 183–194. doi:10.1016/j.rse.2018.12.013

Tang, X., Li, H., Desai, A. R., Nagy, Z., Luo, J., Kolb, T. E., Ammann, C. (2014). How is water-use efficiency of terrestrial ecosystems distributed and changing on Earth? *Nature, Scientific Reports*, 4(1). doi:10.1038/srep07483

Tian, H., Chen, G., Liu, M., Zhang, C., Sun, G., Lu, C., ... Chappelka, A. (2010). Model estimates of net primary productivity, evapotranspiration, and water use efficiency in the terrestrial ecosystems of the southern United States during 1895–2007. *Forest Ecology and Management*, 259(7), 1311–1327. doi:10.1016/j.foreco.2009.10.009

Von Dentz, E. (2019). Produção agrícola no estado do Mato Grosso e a relação entre o agronegócio e as cidades: o caso de Lucas do Rio Verde e Sorriso. *Ateliê Geográfico - Goiânia-GO*, v. 13, n. 2, ago./2019, p. 165 – 186.

Von Randow, R. de C. S., Tomasella, J., von Randow, C., de Araújo, A. C., Manzi, A. O., Hutjes, R., & Kruijt, B. (2020). Evapotranspiration and gross primary productivity of secondary vegetation in Amazonia inferred by eddy covariance. *Agricultural and Forest Meteorology*, 294, 108141. doi:10.1016/j.agrformet.2020.108141

Vourlitis, G. L., de Souza Nogueira, J., de Almeida Lobo, F., & Pinto, O. B. (2014). Variations in evapotranspiration and climate for an Amazonian semi-deciduous forest over seasonal, annual, and El Niño cycles. *International Journal of Biometeorology*, 59(2), 217–230. doi:10.1007/s00484-014-0837-1

Vourlitis, G. L., de Souza Nogueira, J., de Almeida Lobo, F., Sendall, K. M., de Paulo, S. R., Antunes Dias, C. A., 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(3).doi:10.1029/2006wr005526

Vourlitis, G.L.; de Almeida Lobo, F.; Lawrence, S.; Codolo de Lucena, I.; Pinto, O.B.; Dalmagro, H.J.; Carmen, E.; Rodriguez, O.; de Souza Nogueira, J.(2013). 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*, 77, 1370–1379, doi:10.2136/sssaj2012.0336.

VUOLO, F. & ATZBERGER, C. (2014). Improving Land Cover Maps in Areas of Disagreement of Existing Products using NDVI Time Series of MODIS– Example for Europe. *PFG 2014 / 5*, 0393–0407. DOI: 10.1127/1432-8364/2014/0232

Walter, b. M. T. (2006). Fitofisionomia do bioma Cerrado: síntese terminologia e relações florísticas. 2006. 389 f. Tese – Universidade de Brasília. Brasília, Março de 2006.

WALTER, B. M. T. Fitofisionomia do bioma Cerrado: síntese terminologia e relações florísticas. 2006. 389 f. Tese – Universidade de Brasília. Brasília, Março de 2006.

Willmott, C.J.; Ackleson, S.G.; Davis, J.J.; Feddema, K.; Klink, D.R. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research* 1985, v.90 (5), 8995–9005.

Xiao, J., Sun, G., Chen, J., Chen, H., Chen, S., Dong, G., ... Zhou, J. (2013). Carbon fluxes, evapotranspiration, and water use efficiency of terrestrial ecosystems in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 182-183, 76–90. doi:10.1016/j.agrformet.2013.0

Yang, S., Zhang, J., Zhang, S., Wang, J., Bai, Y., Yao, F., & Guo, H. (2020). The potential of remote sensing-based models on global water-use efficiency estimation: An evaluation and intercomparison of an ecosystem model (BESS) and algorithm (MODIS) using site level and upscaled eddy covariance data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 107959. doi:10.1016/j.agrformet.2020.107959

Yang, Y., Xiao, P., Feng, X., & Li, H. (2017). Accuracy assessment of seven global land cover datasets over China. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 125, 156–173. doi:10.1016/j.isprsjprs.2017.01.016

YU, C. M. Sequestro florestal de carbono no brasil – dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas, 2004. 293f. Tese – Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR. 2004.

Zhao, J., Wang, J., Jin, Y., Fan, L., Xu, C., Liang, D., & Huang, L. (2018). Land Cover Based Landscape Pattern Dynamics of Anhui Province Using GlobCover and MCD12Q1 Global Land Cover Products. *Sustainability*, 10(4), 1285. doi:10.3390/su10041285

- Zhao, M., Heinsch, F. A., Nemani, R. R., & Running, S. W. (2005). Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment*, 95(2), 164–176. doi:10.1016/j.rse.2004.12.011
- Zhao, M., Running, S. W., & Nemani, R. R. (2006). Sensitivity of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) terrestrial primary production to the accuracy of meteorological reanalyses. *Journal of Geophysical Research*, 111(G1). doi:10.1029/2004jg000004
- Zemp, D. C., Schleussner, C.-F., Barbosa, H. M. J., van der Ent, R. J., Donges, J. F., Heinke, J., ... Rammig, A. (2014). On the importance of cascading moisture recycling in South America. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(23), 13337–13359. doi:10.5194/acp-14-13337-2014
- Zheng, Y., Zhang, L., Xiao, J., Yuan, W., Yan, M., Li, T., & Zhang, Z. (2018). Sources of uncertainty in gross primary productivity simulated by light use efficiency models: Model structure, parameters, input data, and spatial resolution. *Agricultural and Forest Meteorology*, 263, 242–257. doi:10.1016/j.agrformet.2018.08.003

APÊNDICE

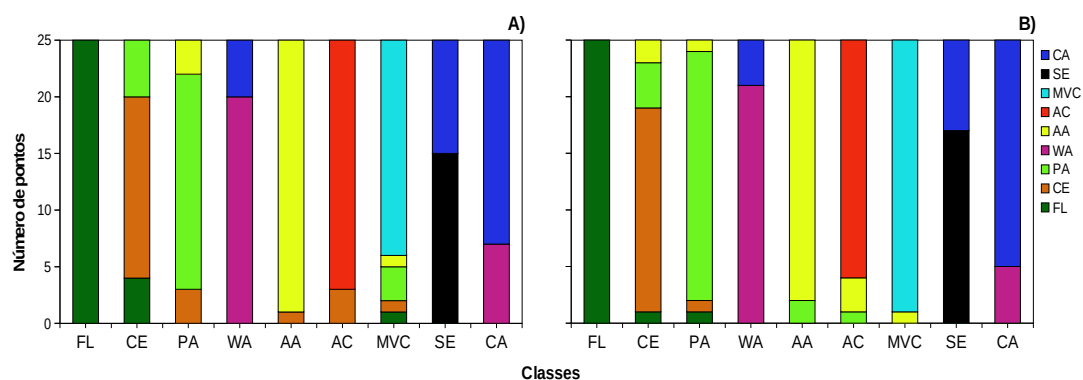


Figura 8: Gráfico de Contingência do produto de classificação da cobertura do solo MCD12Q1 das classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Mosaico Vegetação e Cultivo (MVC), Solo Exposto (SE) e Corpo D'água (CA) nos anos de 2001 (a) e 2016 (b) em Mato Grosso, Brasil.

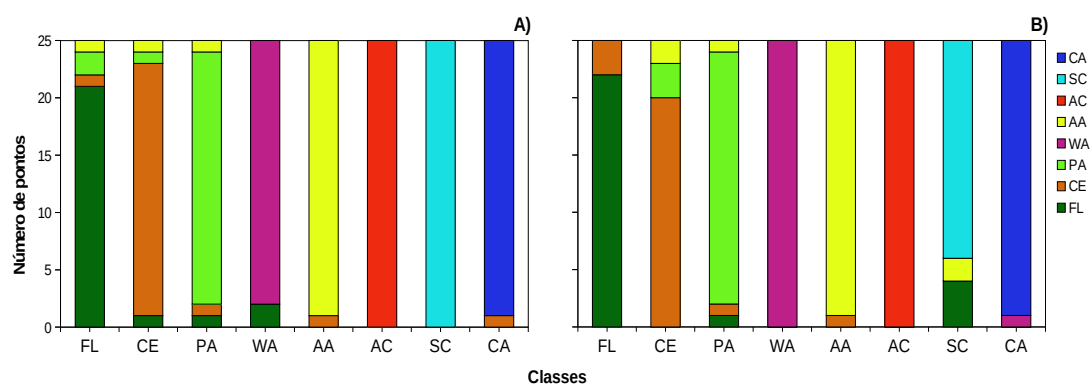


Figura 9: Gráfico de Contingência do produto de Cobertura e Uso da Terra (CUT-IBGE) fornecido pelo IBGE das classes Floresta (FL), Cerrado (CE), Pastagem (PA), Área Úmida (WA), Área Agrícola (AA), Área Construída (AC), Silvicultura (SC) e Corpo D'água (CA) nos anos 2000 (a) e 2016 (b) em Mato Grosso, Brasil.