

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

**VARIABILIDADE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE
REFERÊNCIA EM CONTRASTE AO USO DO SOLO
EM QUATRO LOCALIDADES NORTE
MATO-GROSSENSE**

RENAN GONÇALVES DE OLIVEIRA

**PROF. DR. THIAGO RANGEL RODRIGUES
ORIENTADOR**

**PROF. DR. LEONE FRANCISCO DE AMORIN CURADO
COORIENTADOR**

**Cuiabá, MT
Outubro de 2018**

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

**VARIABILIDADE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE
REFERÊNCIA EM CONTRASTE AO USO DO SOLO
EM QUATRO LOCALIDADES NORTE
MATOGROSSENSE**

RENAN GONÇALVES DE OLIVEIRA

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

PROF. DR. THIAGO RANGEL RODRIGUES

ORIENTADOR

**PROF. DR. LEONE FRANCISCO DE AMORIN CURADO
COORIENTADOR**

**Cuiabá, MT
Outubro de 2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

G635v Gonçalves de Oliveira, Renan.
VARIABILIDADE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM
CONTRASTE AO USO DO SOLO EM QUATRO LOCALIDADES NORTE
MATO-GROSSENSE / Renan Gonçalves de Oliveira. -- 2018
68 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Thiago Rangel Rodrigues.
Co-orientador: Leone Francisco Amorim Curado.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Análise de tendência. 2. Índice de aridez. 3. Precipitação. 4. Ciclo hidrológico.
I. Título.

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

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

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

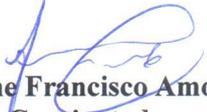
**TÍTULO: VARIABILIDADE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE
REFERÊNCIA EM CONTRASTE AO USO DO SOLO EM
QUATRO LOCALIDADES NORTE MATO-GROSSENSE**

AUTOR: RENAN GONÇALVES DE OLIVEIRA

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 02 de outubro de 2018, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues
Orientador

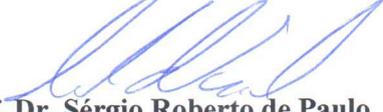
Instituto de Física - UFMS


Prof. Dr. Leone Francisco Amorim Curado
Coorientador

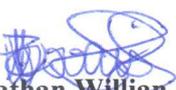
Instituto de Física - UFMT


Prof. Dr. João Basso Marques
Examinador Interno

Programa Nacional de Pós Doutorado/PNPD/CAPES


Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo
Examinador Interno

Instituto de Física - UFMT


Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais
Examinador Externo

Universidade de Cuiabá - UNIC


Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira
Examinador Externo

Universidade de Cuiabá - UNIC

DEDICATÓRIA

Deus pela vida, a minha esposa Darley Maria e a meu filho João Vitor pelo amor e compreensão, aos meus pais Jessé e Márcia e irmãos Allan, Isis e Marquinho, pelo amor, oportunidade e sacrifícios.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente a Deus pelo dom da vida e pelas coisas maravilhosas que ele realiza em minha vida;
- Aos meus pais, Jessé e Marcia Vitória que acreditam em meus sonhos e me dão força para lutar por eles;
- A minha esposa, Darley Maria que é minha fonte de inspiração e amor;
- Ao meu filho João Vitor, que é a razão pela qual eu acordo todos os dias;
- Ao meu irmão Allan por ser grande exemplo em minha vida;
- A minha irmã Isis por sempre me dar muito carinho e amor;
- Aos meus amigos Thiago, Jonathan, Paula e Leone pelos grandes e inesquecíveis momentos vividos durante o tempo que vivemos juntos enclausurados na biblioteca do PPGFA;
- À Shapiro, Kolmogorov, Romeuzinho, Doido_menino, Spock, Mulinha e Zé Faquinha pelos momentos de descontração.
- Ao meu orientador Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues por ser um grande exemplo de profissionalismo e amigo;
- Ao Coordenador e amigo Prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná) por acreditar em nossos sonhos e incentivo à docência e a pesquisa;
- A Prof^a. Dr^a. Marta Cristina pelo exemplo de seriedade e por ser um doce de pessoa comigo;
- Aos meus colegas e amigos do IFMT campus Sorriso;
- Ao IFMT por me conceder a licença para escrever a tese de doutorado;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de pós-graduação a mim concedida.

EPÍGRAFE

*“Feliz é aquele que nas aflições continua fiel!
Porque depois de sair aprovado dessas aflições,
receberá como prêmio a vida que Deus promete
aos que o amam.”*

Tiago: 1:12

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	II
LISTA DE ABREVIACOES	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
1.3. OBJETIVOS	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1. EXPANSÃO AGRÍCOLA EM MATO GROSSO	4
2.2. NORTE MATO-GROSSENSE.....	5
2.3. O AMBIENTE E O CLIMA.....	6
2.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
3.2. DADOS METEOROLÓGICOS.....	9
3.2.1. Evapotranspiração de Referência	10
3.2.2. Radiação Solar.....	12
3.3. ÍNDICE DE ARIDEZ.....	13
3.4. PROCESSAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	14
3.4.1. Análise de Tendência.....	14
3.5. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO.....	15
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	16
4.1. CICLO SAZONAL DA ET_o , P E IA	16
4.2. VARIAÇÃO INTERANUAL E ANALISE DE MANN-KENDALL DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....	18
4.3. ANÁLISE DA TENDÊNCIA MENSAL DE MANN-KENDALL	26
4.4. CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA	35
5 - CONCLUSÃO	45
6. BIBLIOGRAFIA.....	46
6.1. BIBLIOGRAFIA CITADA.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localizações geográficas das estações meteorológicas.....	10
Figura 2: Ciclo Sazonal da ET_o , Ppt e IA médio para as quatro localidades.....	16
Figura 3: Acumulado anual da Evapotranspiração de Referência para as quatro localidades no período de 2000 – 2016.....	18
Figura 4: Variação Interanual da Temperatura Máxima anual (T_{max}) para os municípios estudados no período de 2000 – 2016.....	19
Figura 5: Variação Interanual da Temperatura Mínima anual do ar (T_{min}) para as quatro localidades no período de 2000 – 2016.....	20
Figura 6: Variação da Umidade Relativa anual do ar (UR) para as quatro localidades no período de 2000-2016.....	21
Figura 7: Variação Interanual da Insolação para as quatro localidades no período de 2000-2016.....	23
Figura 8: Variação Interanual da velocidade do vento (u_2) para as quatro localidades estudadas no período de 2000-2016.....	24
Figura 9: Variação Interanual da Precipitação pluviométrica (Ppt) para as estações localizadas nos municípios de Canarana, Gleba Celeste (Sinop), Matupá e São José do Rio Claro, MT, no período de 2000-2016.....	25
Figura 10: Correlação linear entre as variáveis climatológicas e a ET_o para a estação localizada no município de Canarana, MT, para o período de 2000 a 2016.....	37
Figura 11: Correlação linear entre as variáveis climatológicas e ET_o para a estação localizada na Gleba Celeste (Sinop), MT, para o período de 2000-2015.....	39
Figura 12: Correlação Linear entre as variáveis climatológicas e ET_o para a estação localizada no município de Matupá, MT, no período de 2004 à 2016.....	41
Figura 13: Correlação Linear entre as variáveis climatológicas e ET_o para a estação localizada no município de São José do Rio Claro, MT, no período de 2000 à 2015.....	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Localização das estações meteorológica e o período de estudo.....	9
TABELA 2: Análise de tendencia de Mann-Kendall para Evapotranspiração de Referência e as Variáveis Meteorológicas para o município de Canarana, MT.	28
TABELA 3: Análise de tendência de Mann-Kendall para Evapotranspiração de Referência e para as variáveis Meteorológicas para Gleba Celeste, Sinop, MT.....	30
TABELA 4: Análise de tendência de Mann-Kendall para Evapotranspiração de Referência e para as variáveis Meteorológicas para Matupá, MT.	32
TABELA 5: Análise de tendência para Evapotranspiração de Referência e para as variáveis Meteorológicas para o município de São José do Rio Claro, MT.	34
TABELA 6: Teste de normalidade dos dados de Shapiro-Wilk para as variáveis meteorológicas e a Evapotranspiração de referência.	35

LISTA DE ABREVIACÕES

e_a – Pressão atual de vapor de água

e_s – Pressão de saturação de vapor de gua

ET_o – Evapotranspiração de Referência

G – Densidade de Fluxo de Calor no solo

H_0 – Hipótese estatística zero

IA – ndice de aridez

K_c – Coeficiente de cultivo

kPa – Quilo Pascal

$m.s^{-1}$ – Metros por segundos

MJ – Mega Joule

MK – Mann-Kendall

mm – Milímetros

n – Número efetivo de horas de brilho solar

N – Número máximo de horas de brilho solar

C – Graus Celsius

P_{pt} – Precipitação pluviométrica

R_g – Radiação solar global

R_n – Radiação líquida na superfície

R_{nl} – Radiação líquida de onda longa

R_{ns} – Radiação de onda curta

R_o – Radiação que atinge o topo da atmosfera

R_{so} – Radiação solar em dia de céu totalmente limpo

S – Variável estatística (Score)

T – Temperatura média do ar

t_m – Quantidade de repetições de extensão m

T_{max} – Temperatura máxima do ar

T_{min} – Temperatura mínima do ar

u_2 – Velocidade do vento a dois metros de altura

UR – Umidade relativa do ar

u_z – Velocidade do vento medido na altura z

Var – Variância

z – Altura de medição da velocidade do vento

α – Coeficiente de reflexão de um cultivo hipotético de referência

γ – Constante Psicrométrica

Δ – Inclinação da curva de pressão de vapor

σ – Constante de Stefan-Boltzman

RESUMO

OLIVEIRA, R.G. Variabilidade da Evapotranspiração de Referência em Contraste ao Uso do Solo em Quatro Localidades Norte Mato-grossense. Cuiabá, 2018, 68f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

A agricultura brasileira, em sua maioria, ainda depende da água da chuva para suprir a necessidade hídrica dos cultivos e a evapotranspiração é o principal meio de transferência de água, em forma de vapor, para o processo de formação de nuvens e conseqüentemente as chuvas. Sendo assim, o objetivo geral é analisar o comportamento da evapotranspiração de referência e os componentes utilizados para estima-lo em contraste ao uso do solo em quatro localidades do Norte mato-grossense. Avaliou-se os principais fatores relacionados a possíveis mudanças na Evapotranspiração de referência num período médio de 20 anos, identificando tendências nas séries de dados estudados (ET_0 , n , T , u_2 , UR e P_{pt}) e o grau de correlação (r) entre elas. Além disso, analisou-se o comportamento do Índice de Aridez (IA) para observar o grau de insuficiência da precipitação para manter o solo em condições de umidade adequadas ao desenvolvimento vegetal. Para identificar quão significativo eram as tendências foi utilizado a análise de tendência de Mann-Kendall e análise da Regressão Linear. Há tendência significativa para a Evapotranspiração de Referência apenas na estação localizada no município de Canarana, com tendência negativa, variando na ordem de 8,4 mm por ano. O índice de aridez, para os meses mais secos do ano, apresentou valores próximos de 1, caracterizando a região como de aridez média a alta. A variável que mais influenciou a variabilidade ET_0 foi a Insolação.

Palavras Chave: análise de tendência, índice de aridez, precipitação, ciclo hidrológico.

ABSTRACT

OLIVEIRA, R.G. **Variability of Reference Evapotranspiration in Contrast to Soil Use in Four Localities North of Mato Grosso.** Cuiabá, 2018, 68f. Thesis (Ph.D. in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

Brazilian agriculture, for the most part, still depends on rainfall to supply the water needs of crops and the evapotranspiration is the main means of water transferring, in the form of vapor, to the process of cloud formation and consequently, rains. Thus, the general objective is to analyze the behavior of the reference evapotranspiration and the components used to estimate it in contrast to the land use in four locations in the North of Mato Grosso state, Brazil. The main factors related to possible changes in reference evapotranspiration over a mean period of 20 years were evaluated, identifying trends for the data set studied (ET_o , n , T , u_2 , UR and Ppt) and the correlation (r) among them. In addition, the behavior of the Aridity Index (IA) was analyzed to observe the degree of rainfall insufficiency to maintain the soil in humidity conditions suitable for plants development. To identify how significant the trends were, we used the Mann-Kendall trend analysis and Linear Regression Analysis. The Reference Evapotranspiration showed a significant trend only in the station located in the municipality of Canarana, with a negative trend, varying 8.4 mm per year. The Aridity Index, for the driest months of the year, presented values close to 1, characterizing the region as medium to high aridity. The variable that most influenced the ET_o variability was the insolation.

Keywords: trend analysis, evapotranspiration, aridity index, precipitation, hydrological cycle.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

A água é de extrema importância para o desenvolvimento sustentável da agricultura e demais áreas relacionadas. Em seu estado líquido, intermedeia processos químicos, biológicos e físicos, sendo importante regulador da temperatura, devido seu elevado calor específico. Para as plantas isso é particularmente importante, fazendo com que os danos causados pela flutuação da temperatura do ambiente, sejam reduzidos.

Para tanto, a planta retira água do solo através de suas raízes, sendo posteriormente transferida para atmosfera através da transpiração. No entanto, o suprimento de água para os vegetais resulta das interações que estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera. As influências entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da planta dependerá sempre da combinação desses três fatores.

A medida que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorverem água, porque aumenta a força de retenção e diminui a disponibilidade de água no solo às plantas. Entretanto, quanto maior for a demanda evaporativa de água pela atmosfera mais elevada será a necessidade de fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera, aumentando o déficit hídrico às plantas caso o solo esteja seco e o déficit hídrico em plantas, afeta o seu crescimento e desenvolvimento podendo apresentar impacto negativo substancial em sua produtividade.

A evapotranspiração depende basicamente da intensidade da radiação, disponibilidade hídrica do solo e demanda evaporativa da atmosfera. A demanda evaporativa da atmosfera, representada pela Evapotranspiração Potencial ou Evapotranspiração de Referência, é um processo biofísico influenciado pelas variáveis meteorológicas e, é um importante componente do ciclo hidrológico, balanço energético da superfície, e uma ferramenta muito importante na estimativa do crescimento dos cultivos, demanda e gestão de recursos hídricos.

Que as mudanças climáticas, tanto locais quanto globais, interferem na Evapotranspiração de referência isso é notório. Porém, as suas variações durante o tempo também são importantes para o planejamento agrícola, ao passo que na agricultura brasileira, em sua maioria, ainda depende da água da chuva. No entanto, a agricultura irrigada, utiliza os valores de Evapotranspiração de referência juntamente com o coeficiente de cultivo (K_c) para que se possa estimar a necessidade hídrica das plantas e posteriormente determinar a lâmina de água a ser irrigada.

A agricultura é um dos setores produtivos que mais consome água e, também contribui significativamente para o aumento da emissão de gases do efeito estufa o que pode contribuir para o aumento da temperatura média do ar. Vários estudos têm mostrado aumentos significativos nos valores da Evapotranspiração de referência em função do aumento da temperatura média do ar, contudo, alguns estudos também relatam decréscimo no valor da Evapotranspiração que é conhecido como paradoxo da evapotranspiração.

1.2. JUSTIFICATIVA

O Brasil é conhecido mundialmente por ter sua economia baseada na agricultura. O estado de Mato Grosso é o segundo maior produtor do Brasil, sendo o cultivo de soja e milho as principais culturas. No entanto, esse crescimento vem acompanhado de mudanças no uso e na cobertura do solo o que acaba impactando no comportamento e nas tendências das variáveis climáticas, influenciando principalmente o regime hídrico da região e no aquecimento da superfície.

Portanto, estimativas das tendências e o conhecimento do comportamento das variáveis climáticas e a influencia sobre a Evapotranspiração de referência, é de extrema importância devido ao pouco estudo da temática na região e pela necessidade de geração de informações que subsidiem o desenvolvimento sustentável da agricultura norte mato-grossense.

1.3. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar o comportamento da evapotranspiração de referência em contraste ao uso do solo em quatro localidades do norte mato-grossense. Tendo como objetivos específicos:

- Avaliar os principais fatores relacionados a possíveis mudanças na Evapotranspiração de referência durante o período estudado;
- Identificar tendências na série de dados usados no presente estudo (Evapotranspiração de referência, Insolação, Temperatura do ar, vento, umidade relativa do ar e precipitação);
- Analisar o comportamento temporal do índice de seca durante o período estudado; e
- Analisar o grau de correlação dos dados meteorológicos com a Evapotranspiração de referência.

CAPÍTULO I

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. EXPANSÃO AGRÍCOLA EM MATO GROSSO

O processo de expansão agrícola em Mato Grosso se deu no final dos anos 30 e início dos anos 40. Além de incentivar o desenvolvimento do setor industrial e estimular a diversificação da produção agrícola, o governo procurou incrementar o processo de ocupação das zonas de fronteira agrícola do centro do país, através da chamada Marcha para o oeste, proclamada em 1938, que tinha o objetivo de ocupar e explorar o potencial econômico do despovoado interior do país (HESPANHOL, 2000).

Porém, foi a partir de 1960, na medida em que a necessidade de novas terras para o cultivo aumentava, é que as plantações se direcionaram para o Oeste. Segundo Tafner Junior & Silva (2014), a ocupação do vazio demográfico e a busca pela integração econômica de região afastada dos centros industriais, fez com que o governo incentivasse os grandes capitalistas a expandir seus negócios para a região amazônica. Fazendo com que o estado de Mato Grosso fosse um dos maiores recebedores de projetos subsidiado pelo governo federal, entre 1966 e 1979, para promover à agropecuária e a colonização da região.

Essas áreas, inicialmente, eram abertas com a finalidade de produção pecuária. A partir da década de 80, a soja começou a se expandir para o cerrado. Ainda de forma incipiente, a lavoura havia alcançado zonas de cerrado no centro e no norte de Mato Grosso do Sul e no sudeste de Mato Grosso (MUELLER et al., 2002). Os migrantes provenientes dos estados do sul do Brasil desenvolveram um sistema agrícola mecanizado baseado principalmente na exportação de culturas (AVOR et al., 2012).

A expansão agrícola e os novos sistemas intensivos levaram o Mato Grosso a se tornar um centro agrícola nacional e internacional de produção agrícola, com aproximadamente 58.315 km² de terras plantadas em soja (ou seja, 26,8% das terras cultivadas na soja) (IBGE, 2017).

No entanto, esse modelo de expansão afetou significativamente os biomas cerrado e amazônico. O modelo agrícola adotado em Mato Grosso causou inúmeros problemas ambientais, como a perda de biodiversidade devido ao desmatamento, mudanças no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas, erosão e poluição da água (BRANNSTROM, 2009; AVOR et al., 2012).

2.2. NORTE MATO-GROSSENSE

Mato Grosso é um estado com dimensões continentais. O estado possui 906.806 km², que corresponde a 10,61% da área total do país, correspondente em extensão a França e Alemanha (RODRIGUES JUNIOR & BAMPI, 2014).

O estado de Mato Grosso por apresentar tamanhas dimensões é composto por três biomas de grande importância ambiental, o Pantanal que está localizado ao sul do estado; o cerrado mais ao centro; e a Floresta Amazônica mais ao norte. Além da importância ambiental, o cerrado e a região amazônica são importantes economicamente por abrigar as principais lavouras do estado (LATHUILLIERE et al., 2017). Inicialmente a lavoura foi introduzida através do cerrado e atualmente já ocupa uma parte significativa da região amazônica no estado mato-grossense (SIMON & GARAGORRY, 2005).

A região norte do estado de Mato Grosso é uma região eminentemente voltada para a atividade agrícola, principalmente para as culturas de soja, milho e arroz (SILVEIRA & KÖRBES, 2015). A área plantada de soja em 2017 no Mato Grosso foi de mais de 9 milhões de hectares, o Norte do estado plantou 5.621.648 hectares, representando 56% da área total plantada no estado (IMEA, 2017), o que faz com a região tenha grande importância no setor.

2.3. O AMBIENTE E O CLIMA

Os fatores climáticos podem ser compreendidos em diferentes escalas: Macroclima, Mesoclima e Microclima. Macroclima que se refere à situação de média em longo prazo que ocorre independentemente da topografia, tipo de solo e vegetação (WHITBECK et al., 2016). Já o Meso e o Microclima, são as variações no clima devido à proximidade com a superfície. O uso do solo e a mudança de cobertura do solo afetam o clima regional através de modificações no balanço hídrico (PIELKE et al., 2011; IPCC, 2014; MAHMOOD et al., 2014; SALAZAR, et al., 2015) e orçamento de energia (RODRIGUES, et al., 2014).

Dias et al. (2015) observaram que quando a vegetação natural foi substituída pela agricultura, os componentes do balanço hídrico reduziram drasticamente, principalmente a evapotranspiração que foi 40% menor. A vegetação interage com o solo, clima, hidrologia e outros elementos em todo o ecossistema (SUN et al., 1998). Ele desempenha um papel importante no clima regional e na redução da perda de solo por erosão do vento ou da água (XIE et al., 2001; PIAO et al., 2006).

Vários estudos relacionando mudanças climáticas e cobertura vegetal mostram essa interação com pelo menos uma normal climatológica, ou seja, 30 anos de observação (NAM et al., 2015; DE LA CASA et al., 2016; GAO et al., 2017; Li et al., 2017), para séries temporais inferiores a esse período, não são recomendadas atribuir possíveis causas (El Niño/Oscilação Sul; aquecimento global; alteração climática cíclica; ações antrópicas, dentre outras) para as tendências observadas (SOUZA et al., 2013).

Contudo, a identificação dessas tendências, mesmo que em períodos menores que 30 anos, é fundamental para nortear estratégias de adaptação e mitigação (STRECK et al., 2011). Tang et al. (2017) mostraram, em um trabalho de avaliação das mudanças espaço-temporal da vegetação e suas respostas à temperatura e precipitação na bacia do rio Shiyang no noroeste da China, que houve aumento na temperatura mesmo com apenas 15 anos de interação.

Sendo assim, o efeito dos elementos climático sobre a superfície, também, é significativo para o sucesso da cultura implantada. Os extremos da temperatura diária

do ar, dados pela temperatura mínima ($T_{mín}$) e máxima ($T_{máx}$) diárias, podem afetar de modo negativo as culturas agrícolas, pois são determinantes da taxa de crescimento, do desenvolvimento das plantas (STRECK et al., 2003, 2007) e também da produtividade das culturas, pois valores muito altos ou muito baixos, durante a fase reprodutiva do ciclo, especialmente na antese e esporogênese, causam esterilidade de grãos (BURIOL et al., 2000; STEINMETZ et al., 2001a, 2001b; KUINCHTNER et al., 2007).

2.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO.

A evapotranspiração é definida como o somatório da evaporação da água das superfícies e a transpiração das plantas (ALLEN et al., 2006; CARDOSO & JUSTINO., 2014). Como principal responsável pela perda de água nas bacias hidrográficas, a evapotranspiração exerce uma grande influência sobre os processos hidrológicos, sendo que este componente está estreitamente relacionado com a dinâmica da umidade do solo, a recarga dos aquíferos e o escoamento superficial (LIANG et al., 2008).

A evapotranspiração é controlada pelo balanço de energia, o qual depende da demanda atmosférica, do suprimento de água do solo às plantas e das características fisiológicas das plantas (SANCHES et al., 2015). A demanda evaporativa da atmosfera é, também, conhecida como Evapotranspiração de Referência (ET_o) ou Evapotranspiração de uma cultura hipotética (CARDOSO & JUSTINO, 2014). O conceito de cultura hipotética refere-se a um gramado com crescimento ativo, mantida a uma altura uniforme de 0,12 m, cobrindo completamente o terreno e sem restrição hídrica (ALLEN, et al., 2006), portanto, ET_o , é influenciada somente pelas variáveis meteorológicas (VICENTE-SERRANO, et al., 2015).

Estimativas precisas da evapotranspiração são essenciais para identificar as variações temporais sobre a necessidade de irrigação, melhorar a alocação dos recursos hídricos e avaliar o efeito do uso da terra e mudanças no balanço hídrico (ORTEGA-FARIAS et al., 2009). Vários estudos tem mostrado que a ET_o tem mudado ao longo do tempo (DE LA CASA & OVANDO, 2016; NAM et al., 2015;

DA SILVA et al., 2015), principalmente em função do uso e da mudança da cobertura do solo (DIAS, et al., 2015; LI, et al., 2017) o que acaba provocando mudanças no clima local (FEARNSIDE, 2005).

Além do clima, a evapotranspiração é altamente afetada pelas propriedades da cobertura terrestre, como o índice da área foliar (SUN et al., 2011a, 2011b). Alguns pesquisadores acreditavam que o uso e a mudança na cobertura do solo teve maior impacto no ciclo hidrológico do que a mudança climática (por exemplo, XU et al., 2016) e pode cancelar ou mascarar os efeitos da mudança climática (HAO et al., 2011). O uso e a mudança na cobertura do solo afeta a evapotranspiração na escala regional, principalmente através de mudanças na vegetação (por exemplo, desmatamento e reflorestamento, ou recuperação de pastagens), atividades de desenvolvimento agrícola (por exemplo, recuperação de terras agrícolas, cultivo e manejo agrícola) e urbanização (BRONSTERT et al., 2002) . As taxas de alteração da evapotranspiração diferem entre os tipos de cobertura terrestre que possuem diferentes superfícies subjacentes (OLCHEV et al., 2008; DOUGLAS et al., 2009; DIAS et al., 2015).

Mato Grosso está localizado no sul da Amazonia, região chamada por Fearnside (2005) de arco do desmatamento. Onde, segundo Lathuillière et al. (2012), não tenha havido variação significativa na evapotranspiração total durante o período de 2000 à 2009, o estudo mostrou efeitos significativos da mudança no uso da terra nos componentes da evapotranspiração total.

CAPÍTULO II

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As áreas de estudo ficam localizadas na parte norte do estado mato-grossense. A área de estudo é classificada, segundo Köppen, como *Clima Tropical de Savana* (*Aw*), com temperaturas médias superiores a 18 °C em todos os meses do ano, com a estação seca no outono/inverno e a estação chuvosa ocorrendo na primavera/verão (SOUZA et al. 2013).

O Norte mato-grossense está localizado em uma área com ocorrência de biomas cerrado e floresta amazônica, sendo o cultivo de grãos (soja e milho) a principal atividade agrícola desenvolvida na região.

3.2. DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir de estações convencionais pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas nos municípios de Canarana, Gleba Celeste (Sinop), Matupá e São José do rio Claro (Figura 1). Os dados que compõem a serie histórica que foram utilizados para estimar Evapotranspiração de referência (*ET_o*), são: Temperatura média do ar (°C), Precipitação (mm), Umidade Relativa do ar (%), Velocidade do Vento (ms^{-1}), Brilho Solar (horas). Na tabela 1 estão apresentados as localidades e o período avaliado no presente trabalho.

TABELA 1: Localização das estações meteorológica e o período de estudo.

Municípios	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período
Canarana	-13.47°	-52.27°	430	2000-2016
Gleba Celeste (Sinop)	-12.28°	-55.29°	415	2000-2014
Matupá	-10.25°	-54.91°	285	2004-2016
São José do Rio Claro	-13.43°	-56.71°	350	2000-2015



Figura 1: Localizações geográficas das estações meteorológicas.

Os dados referentes à estação localizada em Matupá apresentaram muitas falhas até o ano de 2003, dificultando a análise dos mesmos. Portanto, o período analisado foi menor, de 2004 a 2016.

3.2.1. Evapotranspiração de Referência

A ET_o foi estimada usando a equação de Penman-Monteith segundo as recomendações da Food and Agriculture Organization (FAO) (Allen et al. 2006):

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900}{T + 272} \right) \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

Onde ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}), R_n é a radiação líquida na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), G é a densidade de fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), T é a temperatura média do ar a 2 metros de altura ($^{\circ}\text{C}$), u_2 é a velocidade do vento a 2

metros de altura (m s^{-1}), e_s é pressão de saturação de vapor (kPa), e_a é a pressão atual de vapor (kPa), Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor em relação a temperatura (kPa), e γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

A velocidade do vento é obtida a 10 metros de altura foi ajustado para altura de 2 metros, usando a equação logarítmica do perfil da velocidade do vento:

$$u_2 = u_z \cdot \frac{4,87}{\ln(68,7 \cdot z - 5,42)}$$

u_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}), u_z é a velocidade do vento medida a altura z metros sobre a superfície (m s^{-1}), e z é a altura de medição sobre a superfície.

3.2.2. Radiação Solar Líquida

Nas estações convencionais os dados de radiação são disponibilizados através do numero de horas de brilho solar, então a radiação líquida foi estimada segundo o terceiro capítulo do boletim numero 56 da FAO sobre dados faltantes (Allen et al. 2006)

Primeiramente foi determinado à radiação solar global utilizando número de brilho solar diário:

$$R_g = \left(a + b \cdot \frac{n}{N} \right) R_o$$

Onde R_g é a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), a é constante da regressão, que expressa a fração da radiação extraterrestre que chega em dias extremamente nublado ($n = 0$), $a + b$ é a fração da radiação extraterrestre que chega a terra em dias de céu totalmente aberto ($n = N$) e R_o Radiação que atinge o topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

Com a R_g estimada, em sequencia, partiu-se para a estimativa da radiação líquida. Primeiramente foi estimada a radiação de onda curta:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_g$$

Em que, R_{ns} é radiação de onda curta, α é coeficiente de reflexão de um cultivo hipotético de referência (0,23) e R_g é a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

E seguida foi estimada a radiação líquida de onda longa:

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{max,K^4} + T_{min,K^4}}{2} \right) \cdot (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \frac{R_g}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

Onde R_{nl} é a radiação líquida de onda longa ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), T_{max,K^4} é a temperatura máxima absoluta durante um período de 24 horas (K), T_{min,K^4} é a temperatura mínima absoluta durante um período de 24 horas (K), e_a é a pressão atual de vapor (kPa), R_g é a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), R_{so} é a radiação solar em dia de céu totalmente limpo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

Com os valores de R_{ns} e R_{nl} estimados, em seguida, procede-se para o cálculo da radiação líquida:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Onde R_n é a radiação líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), R_{ns} é a Radiação de onda curta ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e R_{nl} é a radiação de onda longa ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

3.3. ÍNDICE DE ARIDEZ

A aridez agrícola é induzida principalmente pela evapotranspiração que excede a precipitação. Aridez é a característica do clima que relaciona a insuficiência de precipitação adequada para manter uma vegetação. O grau de aridez de certa região depende da quantidade de água proveniente da precipitação e da perda máxima possível de água através da evaporação e transpiração, ou Evapotranspiração Potencial. Thornthwaite (1948) definiu o Índice de Aridez como a relação da diferença entre evapotranspiração e precipitação para evapotranspiração e é expressa através da equação:

$$IA = \frac{(ET_o - P)}{ET_o}$$

onde, IA é o índice aridez, ET_o a evapotranspiração de referência em milímetros e P é a precipitação pluviométrica em milímetros.

3.4. PROCESSAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

O processamento e organização dos dados foram feitos mediante a utilização dos programas computacional Excel®, SigmaPlot® e *R-studio*.

3.4.1. Análise de Tendência

Os dados foram submetidos a análise de tendência de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), utilizando o programa computacional *R-studio*. O teste é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se determinada série de dados possui uma tendência temporal estatisticamente significativa (SALVIANO et al., 2016). A variável estatística S , para uma série de n dados do teste de Mann-Kendall, é calculada a partir do somatório dos sinais da diferença, par a par:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sinais}(x_j - x_i)$$

onde, x_j e x_i são valores de dados sequencial, e

$$\text{sinais}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases}$$

Quando $n \geq 8$ a variável estatística S se aproxima de uma distribuição normal com média e variância da seguinte forma:

$$\text{média}(S) = 0$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n-5) - \sum_{m=1}^n t_m(m-1)(2m+5)}{18}$$

Onde t_m a quantidade de repetições de extensão m . Em seguida estimou-se o índice z de acordo com o sinal de S :

$$z = \begin{cases} \frac{s - 1}{\sqrt{Var(S)}}; se S > 0 \\ 0; se S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}}; se S < 0 \end{cases}$$

Por se tratar de um teste bicaudal, para rejeitar a H_0 é preciso que o módulo de z seja superior ao valor de p -value, portanto, será considerada que a série apresenta tendência significativa se $|z| > p$ -value.

3.5. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Para se empregar a análise de correlação de Pearson foi feito antes o teste de distribuição normal de Shapiro-Wilk.

A análise de correlação de Pearson foi utilizada para expressar a relação entre as variáveis bases (n , T_{max} , T_{min} , UR e u_2), para a estimativa da evapotranspiração de referência e, a variabilidade da mesma.

O uso do coeficiente de correlação pressupõe que existe uma relação linear entre as duas variáveis - ou seja, que uma determinada mudança em uma variável envolve sempre uma mudança constante no valor médio correspondente do outro. O valor do coeficiente nunca deve exceder +1 ou -1, sendo +1 correlação positiva perfeita e -1 correlação negativa perfeita (WRIGHT, 1921).

CAPÍTULO III

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. CICLO SAZONAL DA ET_o , P e IA

Na Figura 2 estão apresentados as médias mensais totais de precipitação pluviométrica (Ppt), Evapotranspiração de referência (ET_o) e Índice de Aridez (IA).

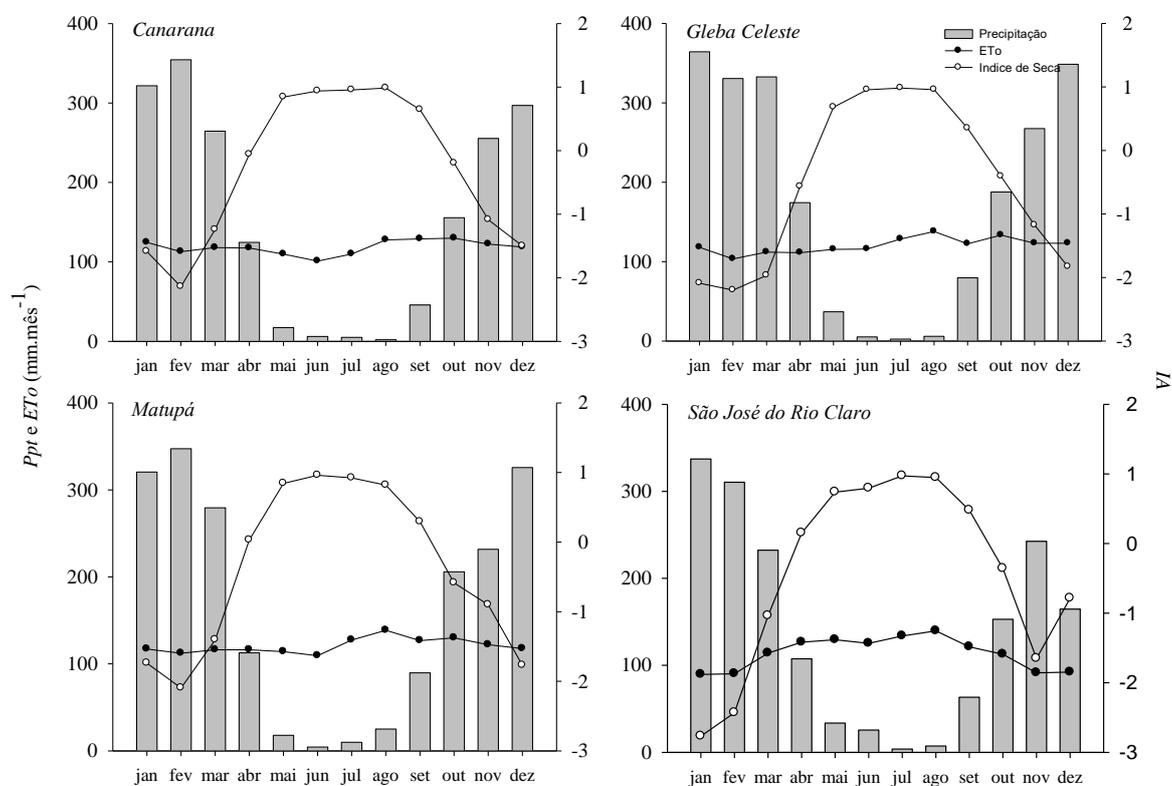


Figura 2: Ciclo Sazonal da ET_o , Ppt e IA médio para as quatro localidades.

Como esperado, a Ppt e IA apresentaram fortes flutuações sazonais, porém a ET_o , apesar de apresentar sazonalidade, as flutuações foram mais brandas. O período chuvoso para todas as localidades se concentram no final do ano e no início do ano subsequente, sendo que, para as estações localizadas em Canarana e Matupá o mês de fevereiro apresentou ser o mês mais chuvoso. Já para as estações em Gleba

Celeste e São José do Rio Claro o mês que obteve maior precipitação pluviométrica foi o mês de janeiro. No entanto, para as quatro localidades, o período de menor precipitação pluviométrica ocorreu nos meses de maio a setembro.

Os valores de *IA* ficaram em torno de 1 para os meses mais secos do ano (maio-setembro) para todas as estações. Os maiores valores de *IA* ocorrem quando a *ETo* é maior que *Ppt*, fazendo com que uma quantidade maior de água deixe o sistema através da evapotranspiração, o que é característico de ambientes mais secos. Contudo, grande parte do ano apresentou valores negativos de *IA*. Segundo Zang et al. (2015), quando os valores de *IA* forem próximos de 1, a aridez é caracterizada como média a alta.

4.2. VARIAÇÃO INTERANUAL E ANÁLISE DE MANN-KENDALL DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.

Os valores médios de ET_o de 2000 a 2016, para as quatro localidades, estão apresentados na figura 3.

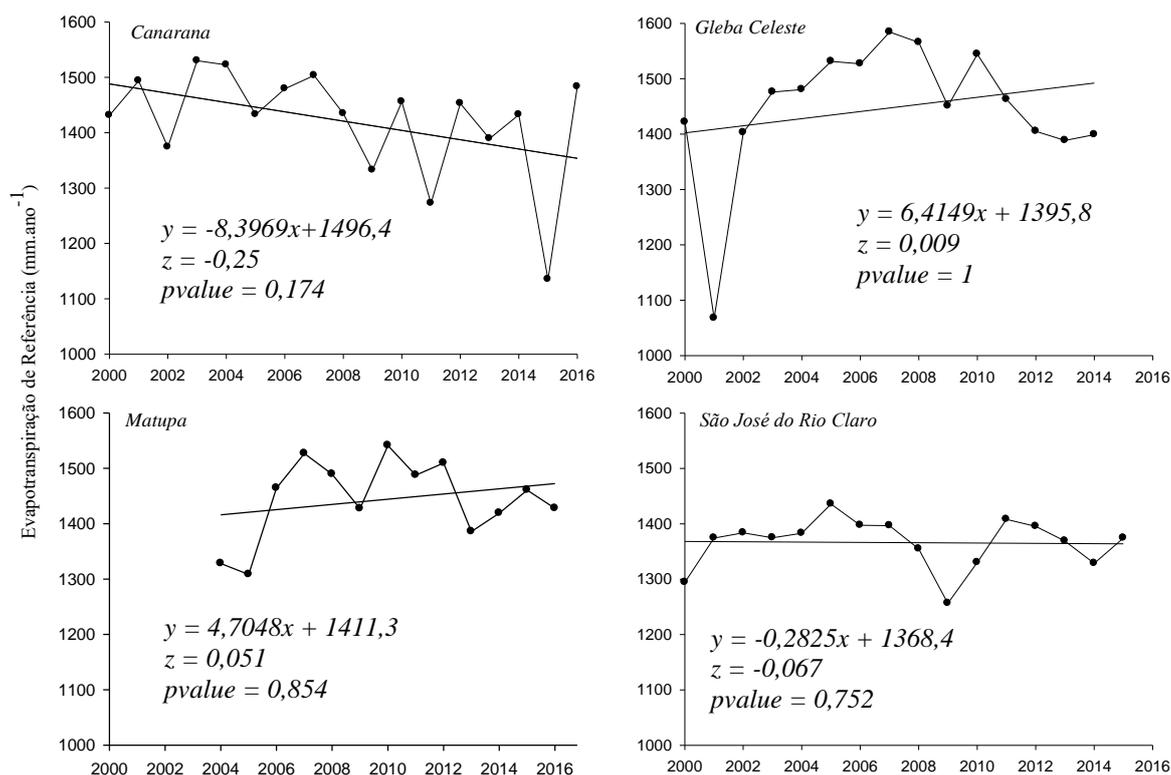


Figura 3: Acumulado anual da Evapotranspiração de Referência para as quatro localidades no período de 2000 – 2016.

A regressão linear indicou que o acumulado anual de ET_o para as estações localizadas nos municípios de Canarana e São José do Rio Claro, apresentaram tendência negativa variando na ordem de 8,39 mm e 0,28 mm por ano, respectivamente. No entanto, somente Canarana apresentou tendência a diminuição da ET_o significativa segundo o teste de MK , apresentando o índice z de -0,25 e $pvalue$ de 0,174. Já para as estações Gleba Celeste e Matupá, a regressão linear apresenta tendência de aumento na ET_o para o período estudado, variando anualmente 6,41 mm e 4,70 mm respectivamente, porém, as tendências não foram significativas quando aplicado a análise de tendência de MK .

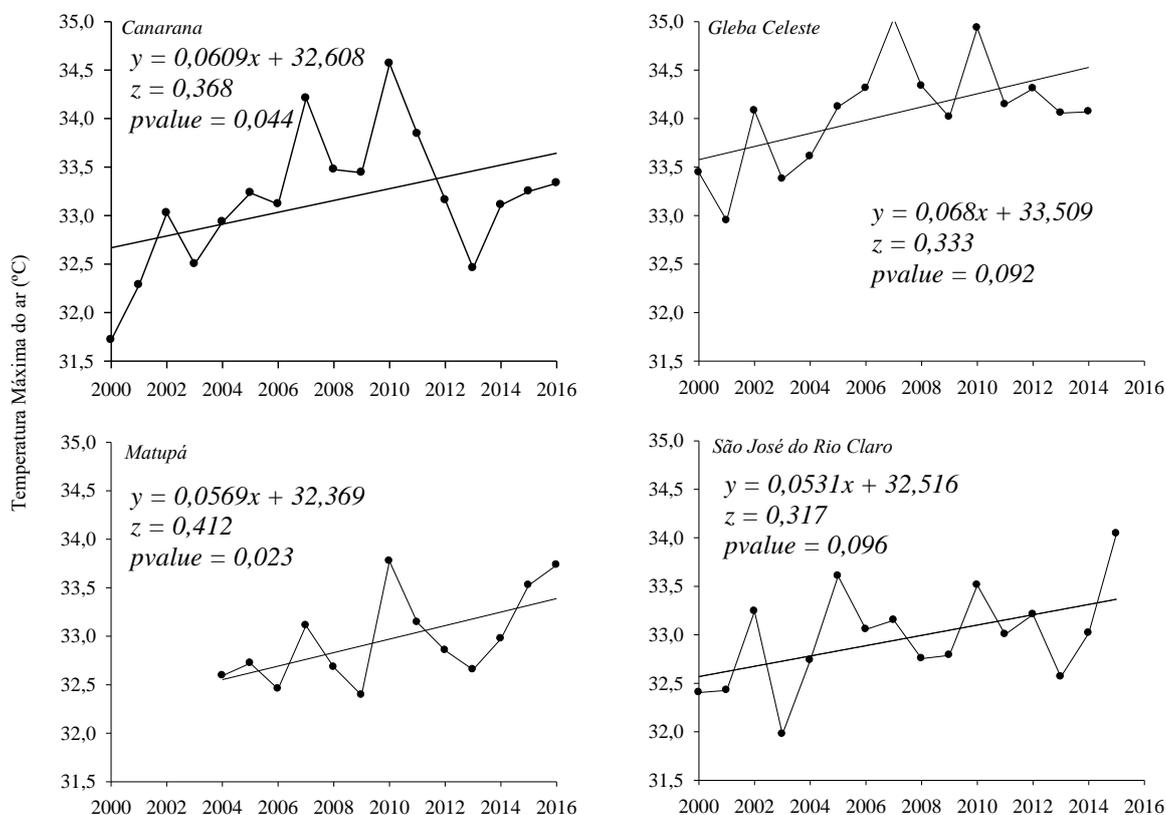


Figura 4: Variação Interanual da Temperatura Máxima anual (T_{max}) para os municípios estudados no período de 2000 – 2016.

Na figura 4 é possível observar a variação interanual de T_{max} para as estações meteorológicas localizadas nos municípios de Canarana, Gleba Celeste (Sinop), Matupá e São José do Rio Claro. As quatro localidades apresentaram tendências positivas de acordo com regressão linear, variando em torno de 0,05 °C por ano o que representa para todo o período um aumento de 0,85°C na temperatura máxima do ar. Esse aumento é corroborado pela análise de tendência de *MK* que constatou tendência ao aumento da temperatura significativo.

A temperatura do ar é uma das variáveis meteorológicas que é facilmente perceptível para ser humano, principalmente quando há algum tipo de variação. Para as plantas, o efeito de valores extremos de T_{max} , associada a outras variáveis meteorológicas como, por exemplo, umidade relativa elevada, compõe um ambiente favorável ao desenvolvimento de microrganismos patógenos, o que

consequentemente acarreta em algum tipo de prejuízo para a planta (SANTOS et al., 2010).

A T_{max} é caracterizada como a temperatura mais alta que ocorre durante um dia (PEREIRA et al., 2002). Nas atividades agrônômicas, a T_{max} exerce função vital ao longo do ano. Durante o processo de germinação de sementes, principalmente de espécies frutíferas, aumento na temperatura máxima podem representar um quadro extremamente danoso durante o processo de vernalização (SILVA et al., 2005). A vernalização é um processo de acumulação de baixas temperaturas por parte da planta desde o estágio de semente germinada até o momento de formação do talo, o que é necessário à sua produção (OLIVEIRA & SCIVITTARO, 2009).

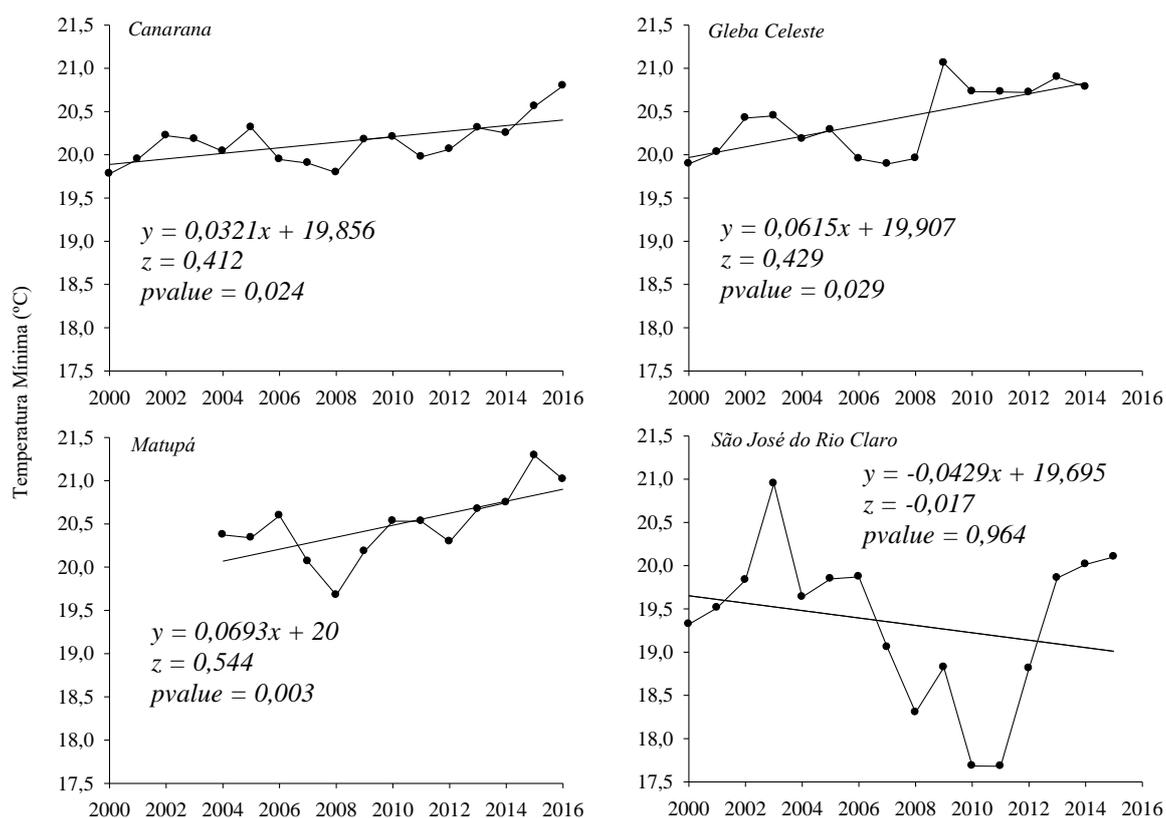


Figura 5: Variação Interanual da Temperatura Mínima anual do ar (T_{min}) para as quatro localidades no período de 2000 – 2016.

Para a temperatura mínima do ar (Figura 5), nas estações localizadas em Canarana, Gleba Celeste e Matupá a regressão linear mostra tendência ao aumento de T_{min} . Esse aumento ficou entre $0,03^{\circ}\text{C}$ para Canarana e de aproximadamente $0,06^{\circ}\text{C}$ para as estações localizadas em Gleba Celeste e Matupá. O teste de *MK* constatou que essas tendências são significativas. Já para a estação de São José do Rio Claro, apesar de apresentar tendência negativa, ou seja, de diminuição da T_{min} , segundo o teste de *MK* não foi significativa.

A ação da temperatura pode ser observada em todos os estádios de desenvolvimento das plantas. Na produção de arroz, por exemplo, alteração na temperatura mínima reflete em perda na produtividade. Peng et al. (2004) observaram que, num período de 25 anos, o aumento da temperatura mínima de 1°C fez com que a produção de arroz decrescesse no mínimo 10%.

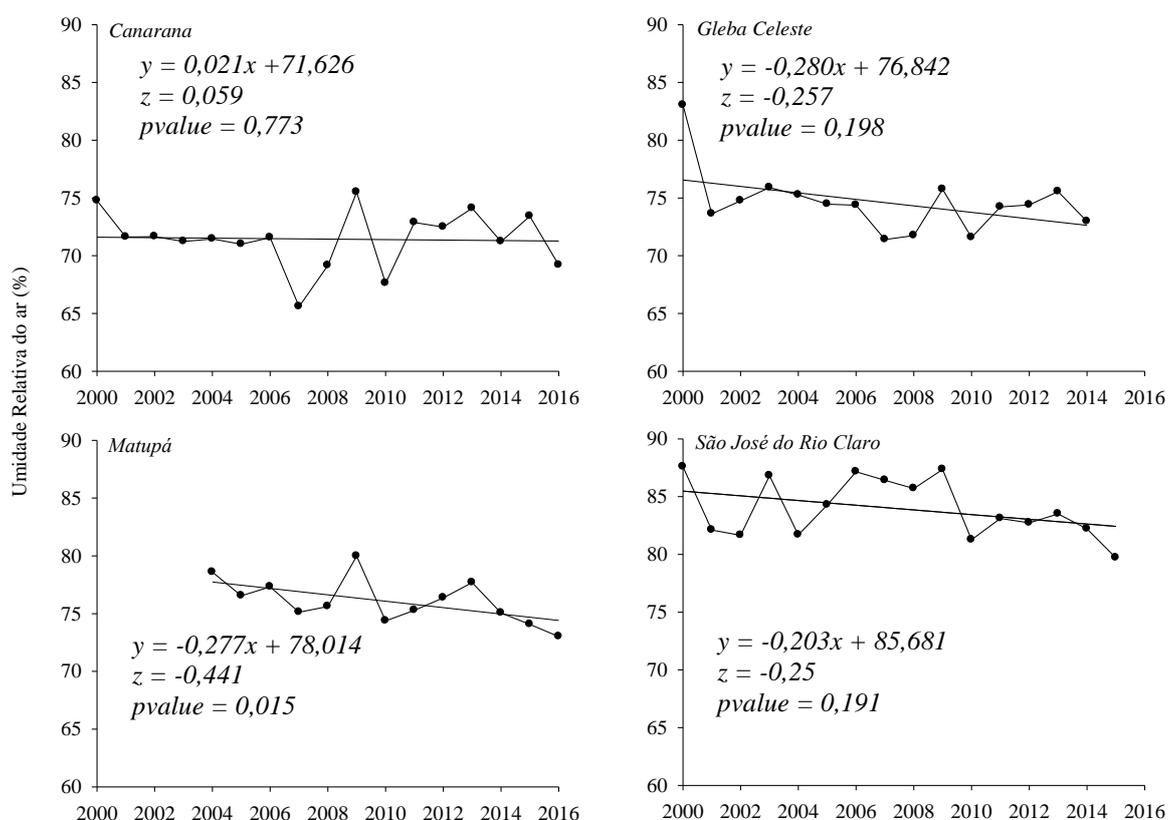


Figura 6: Variação da Umidade Relativa anual do ar (UR) para as quatro localidades no período de 2000-2016.

A Figura 6 apresenta os dados de Umidade relativa anual do ar (*UR*) para cada localidade. Os dados de *UR* apresentaram tendência negativa nas estações localizadas na Gleba Celeste, Matupá e São José do Rio Claro, de acordo com a regressão linear e de acordo com a análise de tendência de *MK*, essa tendência é significativa. A estação localizada em Canarana apresentou tendência positiva para ambas análises, porém, não foi significativa de acordo com o teste de *MK*, contudo, Canarana obteve os menores valores de *UR* média anual, variando de 65% a 77%.

Nas estações onde houve tendência significativa, *UR* diminuiu em torno de 0,2% ao ano, o que no período todo representa aproximadamente 3,4% de umidade relativa do ar. Este mesmo comportamento foi observado por Alencar et al. (2014) em Catalão, Goiás. Os pesquisadores notaram que a redução da umidade relativa foi coerente com o aumento da temperatura máxima e aumento da temperatura mínima. Este incremento na temperatura aumenta o déficit de pressão de vapor reduzindo a umidade relativa (PEREIRA et al., 2002; ALLEN et al., 2006).

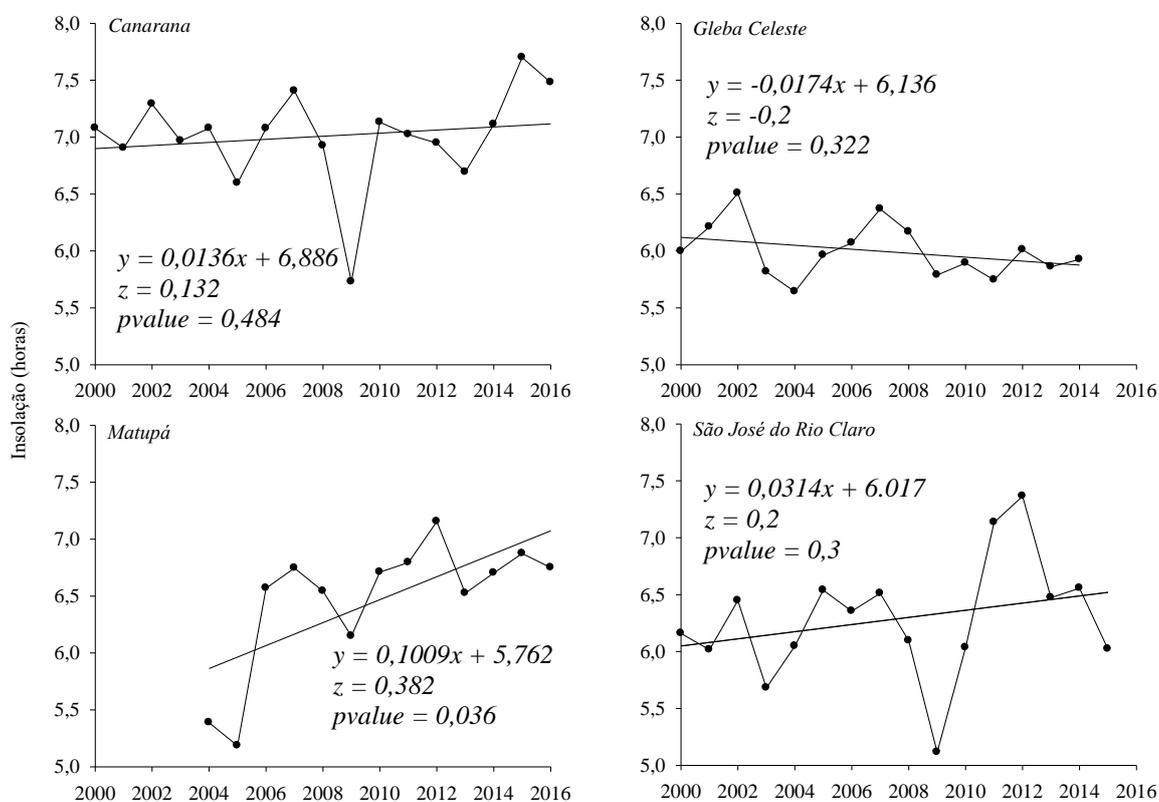


Figura 7: Variação Interanual da Insolação para as quatro localidades no período de 2000-2016.

A análise da regressão linear mostra tendência negativa, somente, na estação localizada em Gleba Celeste, porém, segundo a análise *MK* essa tendência não é significativa. No entanto, as estações localizadas em Canarana, Matupá e São José do Rio Claro apresentaram tendência positiva, sendo que, somente Matupá apresentou tendência significativa (Figura 7).

A estação localizada no município de Matupá apresentou um crescimento de n na ordem de 0,1 horas por ano, onde o ano com menor número de horas de luz foi o ano de 2005 e o ano de maior número de horas de luz foi o de 2012, com 5,2 e 7,2 horas.ano⁻¹ respectivamente. Wang et al. (2017), observaram que o aumento de horas brilho solar, em algumas regiões na China, contribuíram com até 60% do aumento sofrido pela evapotranspiração de referência.

Além de influenciar na variabilidade da Evapotranspiração de referência, a insolação afeta também o desenvolvimento das plantas. A duração do número de horas de brilho solar, tem impacto significativo sobre o rendimento agrícola, principalmente no caso de grãos (DAS et al., 2015), no tempo de florescimento e na duração do ciclo (SILVA et al., 2017) e no acúmulo de biomassa (HICKS, 1978).

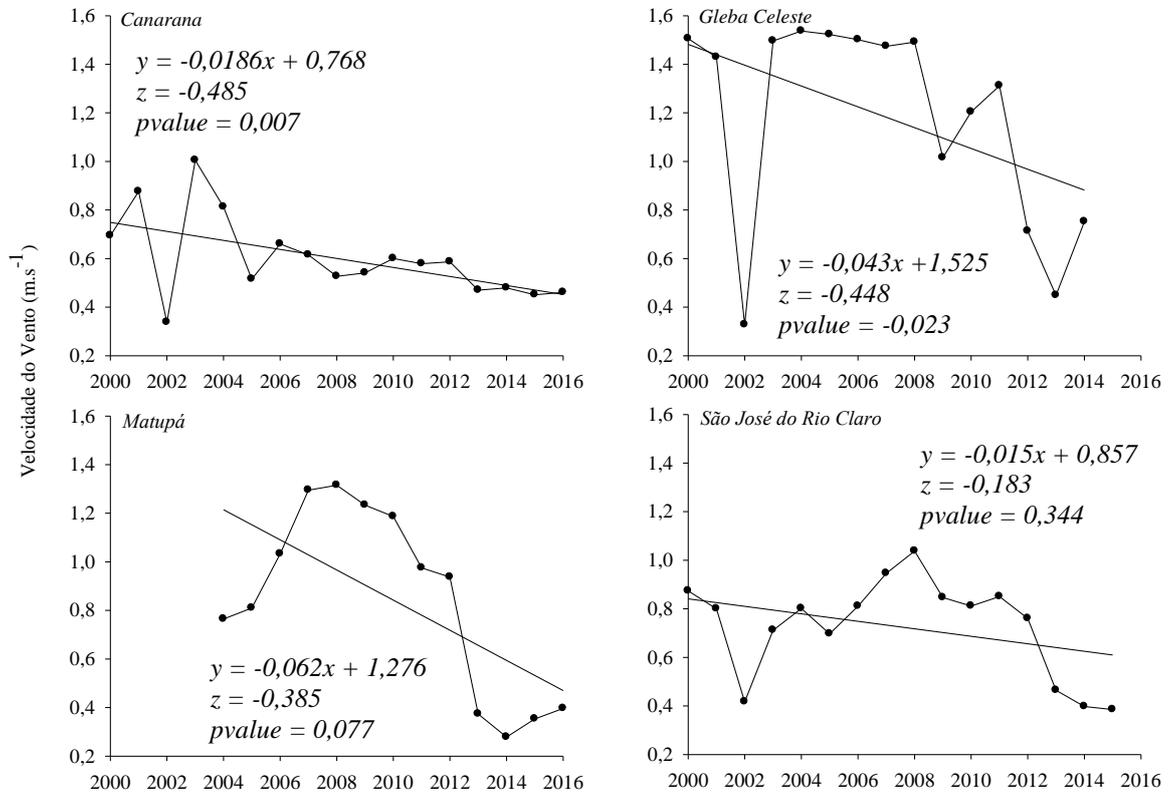


Figura 8: Variação Interanual da velocidade do vento (u_2) para as quatro localidades estudadas no período de 2000-2016.

A análise de regressão linear mostra que todas as estações apresentaram tendência negativa para a variável u_2 , sendo que, somente as estações localizadas em Canarana, Gleba Celeste e Matupá apresentaram tendência significativa de acordo com a análise de tendência de *MK*. Nestas estações, a velocidade do vento decaiu de $0,018 \text{ m.s}^{-1}$ a $0,062 \text{ m.s}^{-1}$ no período de 17 anos.

Segundo vários pesquisadores a velocidade do vento é uma das variáveis climáticas em que a evapotranspiração de referência apresenta maior sensibilidade (IRMAK et al., 2006; LEMOS FILHO et al., 2010; WANG et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017). Dentre eles, Wang et al. (2017) analisaram a contribuição dos fatores climáticos na variabilidade de ET_o na China e constatou que u_2 contribuiu com até 43,65% em algumas regiões.

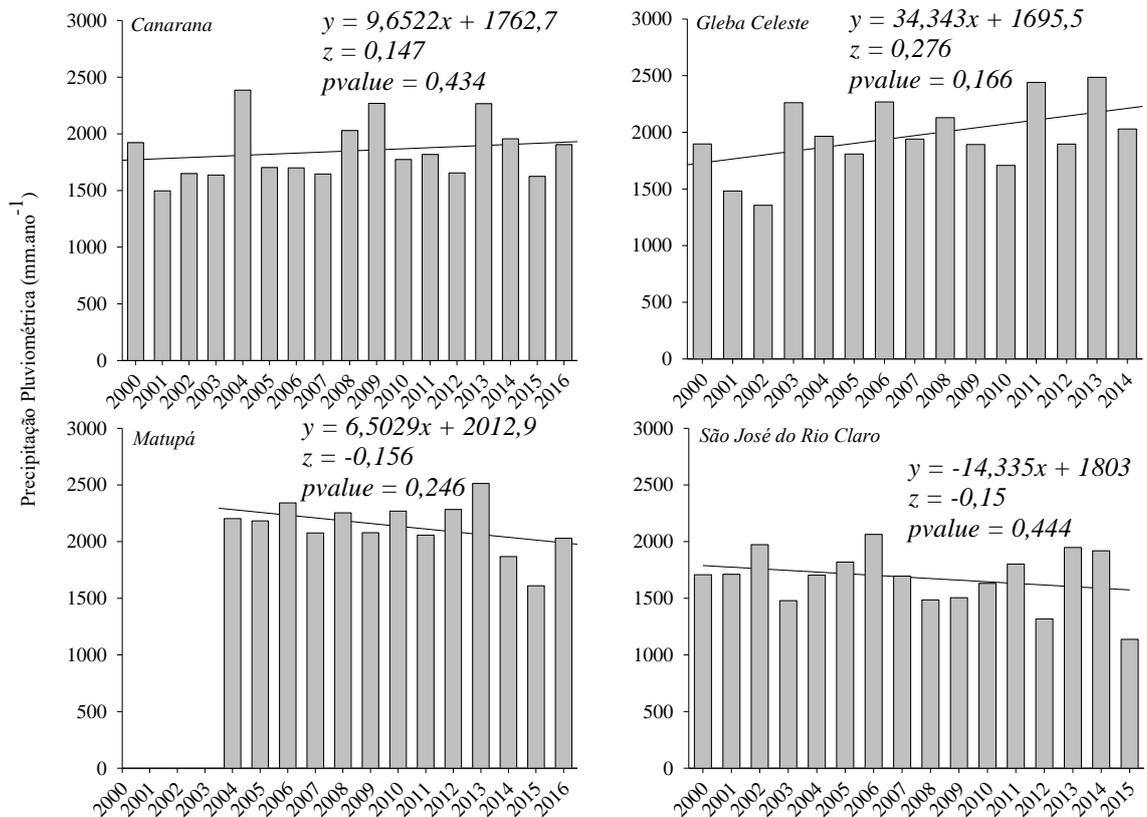


Figura 9: Variação Interanual da Precipitação pluviométrica (*Ppt*) para as estações localizadas nos municípios de Canarana, Gleba Celeste (Sinop), Matupá e São José do Rio Claro, MT, no período de 2000-2016.

Na Figura 9 estão apresentados os dados de *Ppt* para as quatro localidades estudadas no período de 2000-2016. As estações localizadas nos municípios de Canarana e Gleba Celeste obtiveram tendência a aumentar o acumulado anual de chuva, porém, Matupá e São José do Rio Claro apresentam tendência negativa. Contudo, somente Gleba Celeste apresentou tendência significativa de acordo com a análise de tendência de *MK*.

Nesta estação a variação anual, de acordo com a regressão linear, a *Ppt* acumulada variou 34,34 mm anualmente, com uma média para o período 1970,27 mm. Este valor está de acordo com o encontrado por Souza et al. (2013), que ao realizarem a classificação climática e balanço hídrico para essa localidade, obtiveram acumulado anual de precipitação pluviométrica igual à 1974,47 mm.

Para Nimer e Brandão (1989) a média anual de *Ppt* no norte de Mato Grosso, onde estão localizadas as estações estudadas, pode atingir valores superiores a 2750 mm. Segundo Souza et al. (2013), tais valores diminuem na direção leste, oeste e sul do estado, resultando numa distribuição espacial e temporal irregular, durante todo o ano, com máximas no verão e mínimas no inverno (Figura 1), com concentrações de 70% do total de chuvas entre novembro e março e cujo os meses mais chuvosos concentram-se no intervalo de janeiro a março. Durante esses meses, *Ppt* chega a atingir de 45% a 55% do total anual das chuvas (SETTE & TARIFA, 2000).

3.3. ANÁLISE DA TENDÊNCIA MENSAL DE MANN-KENDALL

Para melhor compreensão e organização dos dados de análise da tendência mensal de *MK*, os dados para as quatro localidades estão organizados em Tabelas (2 a 5) separadas e serão apresentados e discutidos a seguir.

Na tabela 2, estão apresentados os dados das análises feitas através do teste de tendência de Mann-Kendall para as variáveis meteorológicas no período de 2000-2016 para a estação localizada no município de Canarana. Apesar de apresentar tendência a diminuição significativa da *ET_o* em todo o período (Figura 1), a análise da tendência mensal de *MK* mostra somente os meses mais secos do ano (junho, julho e agosto) apresentando o mesmo comportamento, ou seja, tendência a uma diminuição significativa.

A precipitação pluviométrica (*Ppt*), apesar de não apresentar nenhum tipo de tendência significativa durante o período chuvoso (início e fim do ano), nos meses de maio e junho, período de transição entre chuvoso e seco, pôde-se notar aumento na tendência significativa através do teste de *MK*. No caso de *n*, a maioria dos meses do ano não apresentou tendência significativa, exceto os meses de julho e agosto que apresentaram tendência a aumento no número de horas de brilho solar.

A temperatura máxima apresentou tendência significativamente positiva na maioria dos meses. O aumento ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro, junho e julho e de setembro a novembro. O aumento da temperatura, principalmente nos

meses de janeiro e fevereiro e setembro a novembro (fim e início do período chuvoso), pode resultar em um ambiente favorável ao desenvolvimento de doenças com importância econômica (NOETZOLD et al., 2014). A antracnose (*Colletotrichum truncatum*), por exemplo, é uma doença de etiologia fúngica que afeta a fase inicial de formação das vagens de soja e ocorre com maior frequência em regiões de elevada precipitação pluviométrica e de altas temperaturas (HENNING et al., 2014).

Como ocorrido com a T_{max} , a temperatura mínima, também apresentou tendência significativa a aumento em grande parte dos meses. O aumento de T_{min} ocorreu nos meses de março a junho e setembro a novembro. T_{min} ocorre praticamente no mesmo instante de ocorrência da temperatura mínima do solo e geralmente durante a noite. O aumento da temperatura noturna perturba os processos de assimilação (Fonte) e acumulação de assimilado (Dreno) e, como resultado, reduz substancialmente o rendimento das culturas (JAGADISH et al., 2015 e SHI et al., 2017).

O efeito do aumento de T_{min} pode ser mitigada, no arroz (*Oryza sativa* L.), por exemplo, o aumento da aplicação de nitrogênio pode aliviar o impacto negativo do estresse de alta temperatura no rendimento do arroz (WARAICH et al., 2012 e SHI et al., 2017), no entanto, a aplicação faz com que o custo de produção acabe sofrendo oneração significativa.

A velocidade do vento foi a variável que mais sofreu variação durante o período estudado. A u_2 mensal tendência significativa, através da análise de MK , nos meses de fevereiro e maio (tendência positiva) e de junho a dezembro (tendência negativa).

Já a umidade relativa do ar, apresentou tendência a diminuição apenas no mês de dezembro.

TABELA 2: Análise de tendência de Mann-Kendall para Evapotranspiração de Referência e as Variáveis Meteorológicas para o município de Canarana, MT.

	<i>ETo</i>		<i>Ppt</i>		<i>n</i>		<i>Tmax</i>		<i>Tmin</i>		<i>u₂</i>		<i>UR</i>	
	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>
Jan	-0,029	0,901	0,132	0,483	-0,037	0,869	0,513*	0,005	0,000	1,000	0,074	0,711	0,088	0,650
Fev	0,044	0,836	-0,073	0,711	0,176	0,343	0,313*	0,090	0,014	0,967	0,265*	0,149	-0,191	0,303
Mar	-0,029	0,901	0,103	0,592	0,015	0,967	0,179	0,341	0,279*	0,127	-0,029	0,901	-0,015	0,967
Abr	0,044	0,836	0,132	0,483	-0,088	0,650	-0,222	0,231	0,368*	0,043	0,750*	0,000	0,176	0,343
Mai	-0,132	0,483	0,271*	0,146	0,058	0,773	-0,150	0,431	0,279*	0,127	-0,279*	0,127	0,162	0,387
Jun	-0,441*	0,015	0,309*	0,116	-0,103	0,592	0,279*	0,135	0,368*	0,044	-0,588*	0,001	0,162	0,387
Jul	-0,471*	0,009	-0,153	0,465	0,294*	0,108	0,303*	0,099	0,206	0,266	-0,559*	0,002	0,044	0,836
Ago	-0,471*	0,009	-0,077	0,733	0,235*	0,202	0,217	0,246	-0,074	0,711	-0,588*	0,001	-0,074	0,710
Set	-0,176	0,343	0,125	0,509	0,111	0,563	0,391*	0,032	0,456*	0,011	-0,529*	0,003	-0,058	0,773
Out	-0,044	0,836	-0,103	0,592	0,147	0,433	0,230*	0,215	0,529*	0,003	-0,412*	0,023	-0,132	0,483
Nov	-0,118	0,536	0,132	0,483	0,051	0,805	0,229*	0,216	0,265*	0,149	-0,529*	0,003	-0,015	0,967
Dez	-0,191	0,303	0,015	0,967	0,015	0,967	0,126	0,508	0,088	0,650	-0,382*	0,036	-0,235*	0,201

* Os valores representados são significativos de acordo com o teste de tendência de Mann-Kendall.

Na tabela 3 estão apresentados os dados da análise de tendência de Mann-Kendall para os dados médios mensais das variáveis meteorológica e *ETo* para a estação localizada em Gleba Celeste no município de Sinop. A *ETo* apresentou tendência significativa em três meses do ano, sendo que, março e julho apresentaram tendência positiva e, outubro tendência negativa. Para a *Ppt* houve tendência significativa no mês de julho, com tendência negativa e aumento da chuva nos meses de agosto, outubro e novembro. Para n os meses com tendência negativa significativa foram abril, agosto e outubro. Já para os meses de março e julho as tendências foram de aumento no número de horas de brilho solar.

A *Tmax* mensal para a estação Gleba Celeste apresentou tendência significativa em nove meses do ano. Sendo que, fevereiro e março e de maio a setembro houve tendência de aumento da *Tmax*, no entanto, novembro e dezembro apresentaram tendência negativa. Já para *Tmin*, todas as tendências significativas observadas foram positivas. Os meses que apresentaram aumento significativo de *Tmin* foram de março a junho e de agosto a outubro.

A velocidade do vento para a estação Gleba Celeste apresentou tendência significativa de janeiro a novembro, onde somente fevereiro e setembro apresentaram tendência a aumento de u_2 . Confirmando o que já foi observado na figura 7, onde todo o período observado nesta estação apresentou tendência à diminuição significativa de u_2 . UR apresentou tendência negativa para os meses de março e maio e para os meses mais secos do ano, julho e agosto.

TABELA 3: Análise de tendência de Mann-Kendall para Evapotranspiração de Referência e para as variáveis Meteorológicas para Gleba Celeste, Sinop, MT.

	<i>Eto</i>		<i>PPt</i>		<i>n</i>		<i>Tmax</i>		<i>Tmin</i>		<i>u₂</i>		<i>UR</i>	
	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>Pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>
Jan	0,047	0,843	0,105	0,620	-0,047	0,483	0,162	0,428	-0,067	0,765	-0,345*	0,083	-0,085	0,692
Fev	-0,009	1,000	0,124	0,552	-0,181	0,373	0,371*	0,060	-0,009	1,000	0,352*	0,074	-0,219	0,276
Mar	0,371*	0,060	0,028	0,921	0,314*	0,113	0,429*	0,029	0,238*	0,234	-0,390*	0,048	-0,238*	0,234
Abr	-0,087	0,692	0,066	0,766	-0,390*	0,047	-0,009	1,000	0,448*	0,022	-0,276*	0,166	0,047	0,843
Mai	0,067	0,766	0,153	0,457	-0,028	0,921	0,249*	0,215	0,478*	0,015	-0,219*	0,276	-0,257*	0,198
Jun	0,115	0,585	0,223	0,311	0,105	0,620	0,517*	0,008	0,459*	0,019	-0,429*	0,029	-0,200	0,322
Jul	0,402*	0,042	-0,300*	0,160	0,276*	0,165	0,663*	0,001	0,211	0,298	-0,371*	0,060	-0,714*	0,002
Ago	0,057	0,804	0,301*	0,135	-0,333*	0,092	0,517*	0,008	0,287*	0,150	-0,257*	0,198	-0,352*	0,074
Set	0,047	0,843	0,125	0,551	-0,085	0,692	0,238*	0,234	0,345*	0,082	0,410*	0,038	-0,009	1,000
Out	-0,287*	0,151	0,383*	0,053	-0,371*	0,060	-0,230	0,254	0,364*	0,066	-0,543*	0,006	0,200	0,322
Nov	-0,181	0,373	0,364*	0,066	0,009	1,000	-0,287*	0,151	0,038	0,881	-0,410*	0,038	0,200	0,322
Dez	-0,181	0,373	0,086	0,691	0,181	0,373	-0,337*	0,091	-0,029	0,920	-0,048	0,843	-0,057	0,804

* Os valores representados são significativos de acordo com o teste de tendência de Mann-Kendall.

Os dados do teste de tendência de Mann-Kendall para a ETo e as variáveis Meteorológicas estão apresentados na tabela 4. Nota-se que para a ETo , que o mês de junho apresentou tendência negativa e os meses de fevereiro, abril, maio e dezembro apresentaram tendência ao aumento de ETo .

A Ppt apresentou tendência significativa nos meses de agosto, outubro e novembro, sendo que somente o mês de novembro apresentou aumento em sua tendência. Já para n , na estação de Matupá, a tendência foi significativa em três meses do ano. Os meses de fevereiro, agosto e setembro apresentaram tendência positiva de acordo com a análise de tendência de MK .

Para a $Tmax$ as tendências significativas foram observadas nos meses de março e de junho a outubro, todas positivas. Já para $Tmin$ os meses com tendência significativa ocorreram de fevereiro a julho e nos meses de setembro e outubro.

A velocidade do vento (u_2) apresentou tendência significativa em cinco dos doze meses observados, sendo que, os meses abril e junho e de agosto a outubro a tendência foi negativa. O que também pode ser observado para a umidade relativa do ar (UR), porém, nos meses de fevereiro e de junho a setembro.

TABELA 4: Análise de tendência de Mann-Kendall para Evapotranspiração de Referência e para as variáveis Meteorológicas para Matupá, MT.

	<i>Eto</i>		<i>Ppt</i>		<i>n</i>		<i>Tmax</i>		<i>Tmin</i>		<i>u₂</i>		<i>UR</i>	
	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>
Jan	0,051	0,855	0,118	0,536	-0,088	0,650	-0,037	0,869	0,178	0,342	-0,077	0,760	0,162	0,387
Fev	0,538*	0,012	-0,029	0,901	0,250*	0,174	0,132	0,484	0,279*	0,127	-0,103	0,669	-0,332*	0,069
Mar	0,128	0,582	0,058	0,773	0,029	0,901	0,235*	0,201	0,429*	0,018	-0,205	0,360	-0,029	0,901
Abr	0,256*	0,246	0,103	0,592	0,103	0,592	0,132	0,483	0,480*	0,008	-0,359*	0,099	-0,073	0,710
Mai	0,308*	0,161	0,000	1,000	0,073	0,710	0,118	0,536	0,515*	0,004	-0,179	0,428	-0,132	0,483
Jun	-0,282*	0,200	0,103	0,621	0,044	0,836	0,273*	0,137	0,588*	0,001	-0,256*	0,246	-0,235*	0,201
Jul	-0,179	0,430	0,030	0,922	0,221	0,232	0,368*	0,044	0,338*	0,063	-0,103	0,669	-0,382*	0,035
Ago	-0,205	0,360	-0,305*	0,113	0,353*	0,053	0,480*	0,008	0,073	0,710	-0,385*	0,077	-0,500*	0,006
Set	0,154	0,502	-0,103	0,529	0,324*	0,077	0,456*	0,012	0,368*	0,043	-0,308*	0,161	-0,368*	0,043
Out	0,231	0,300	-0,294*	0,108	0,206	0,266	0,265*	0,149	0,258*	0,160	-0,282*	0,200	-0,147	0,433
Nov	-0,077	0,760	0,485*	0,007	0,118	0,536	0,029	0,901	0,191	0,303	-0,231	0,300	0,132	0,483
Dez	0,282*	0,200	0,088	0,650	0,176	0,343	0,118	0,536	0,191	0,303	-0,205	0,360	-0,014	0,967

* Os valores representados são significativos de acordo com o teste de tendência de Mann-Kendall.

Os dados referentes à análise de Mann-Kendall para os valores médios mensais das variáveis meteorológicas e evapotranspiração de referência estão apresentados na tabela 5. Nota-se que a ET_0 apresentou tendência em apenas três meses do ano, tendência positiva no mês de setembro e tendência negativa nos meses de maio e novembro.

Para a P_{pt} , houve tendência nos meses de fevereiro, novembro e dezembro, sendo que, somente o mês de dezembro apresentou tendência negativa. Já para a variável n , em cinco meses do ano foi constatada tendência significativa, janeiro, junho, agosto, setembro e dezembro apresentaram tendência de aumento no número horas de brilho solar.

As temperaturas apresentaram comportamentos distintos durante o período estudado. A T_{max} apresentou tendência significativa em quatro meses do ano, sendo que julho, setembro e outubro obtiveram tendência positiva, já no mês de novembro houve redução de T_{max} . Para a T_{min} a tendência foi observada somente no mês de janeiro onde houve diminuição da temperatura.

Para u_2 o teste de tendência de Mann-Kendall mostrou que apenas o mês de novembro apresentou tendência significativa, para este mês a tendência foi negativa. A UR variou em quatro meses do ano, em abril houve aumento da umidade relativa do ar e nos meses de julho a setembro o ar se tornou mais seco.

TABELA 5: Análise de tendência para Evapotranspiração de Referência e para as variáveis Meteorológicas para o município de São José do Rio Claro, MT.

	<i>Eto</i>		<i>Ppt</i>		<i>n</i>		<i>Tmax</i>		<i>Tmin</i>		<i>u₂</i>		<i>UR</i>	
	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>	<i>z</i>	<i>pvalue</i>
Jan	0,117	0,558	-0,200	0,300	0,350*	0,064	0,033	0,892	-0,250*	0,191	-0,117	0,558	0,016	0,964
Fev	0,083	0,685	0,267*	0,162	0,066	0,752	-0,033	0,892	-0,100	0,620	0,066	0,752	-0,016	0,964
Mar	-0,033	0,892	0,033	0,892	0,000	1,000	0,033	0,892	0,083	0,685	-0,050	0,821	0,000	1,000
Abr	-0,167	0,392	-0,016	0,964	-0,183	0,344	-0,209	0,279	0,050	0,821	-0,200	0,300	0,233*	0,224
Mai	-0,250*	0,191	0,016	0,964	-0,083	0,685	0,150	0,444	0,117	0,558	-0,217	0,260	0,083	0,685
Jun	0,183	0,344	-0,052	0,818	0,317*	0,095	0,167	0,392	0,066	0,752	-0,083	0,685	-0,041	0,856
Jul	0,066	0,752	-0,199	0,342	0,117	0,558	0,283*	0,137	0,033	0,892	-0,200	0,300	-0,400*	0,034
Ago	0,150	0,444	0,114	0,594	0,410*	0,037	0,066	0,766	0,009	1,000	-0,033	0,892	-0,390*	0,047
Set	0,400*	0,034	-0,109	0,588	0,238*	0,234	0,524*	0,007	0,105	0,620	-0,217	0,260	-0,276*	0,165
Out	0,016	0,964	-0,100	0,620	0,047	0,843	0,410*	0,037	-0,162	0,428	-0,150	0,444	-0,143	0,488
Nov	-0,283*	0,137	0,300*	0,115	-0,219	0,276	-0,306*	0,124	-0,162	0,428	-0,250*	0,191	0,219	0,276
Dez	0,100	0,620	-0,483*	0,010	0,314*	0,113	0,191	0,346	-0,143	0,488	0,150	0,444	0,009	1,000

* Os valores representados são significativos de acordo com o teste de tendência de Mann-Kendall.

3.4. CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Na tabela 6 são apresentados os dados do teste de normalidade para as quatro localidades estudadas. Nota-se que segundo o teste de Shapiro-Wilk, a distribuição dos dados é normal.

TABELA 6: Teste de normalidade dos dados de Shapiro-Wilk para as variáveis meteorológicas e a Evapotranspiração de referência.

		Canarana	Gleba Celeste	Matupá	São José do Rio Claro
<i>ETo</i>	S-W	0,927	0,967	0,978	0,934
	p	0,194	0,817	0,965	0,284
<i>Ppt</i>	S-W	0,960	0,912	0,967	0,972
	p	0,628	0,145	0,760	0,868
<i>n</i>	S-W	0,910	0,929	0,961	0,895
	p	0,098	0,260	0,648	0,068
<i>Tmax</i>	S-W	0,904	0,952	0,937	0,893
	p	0,079	0,558	0,281	0,074
<i>Tmin</i>	S-W	0,956	0,958	0,954	0,977
	p	0,557	0,661	0,530	0,946
<i>u2</i>	S-W	0,907	0,904	0,897	0,955
	p	0,070	0,110	0,120	0,570
<i>UR</i>	S-W	0,970	0,945	0,928	0,924
	p	0,011	0,443	0,205	0,224

Os resultados do grau de interação, através da correlação para a estação localizada no município de Canarana, entre as variáveis meteorológicas e *ETo* estão apresentados na Figura 9.

Através dos dados de correlação pode-se constatar que, durante o período de 2000 a 2016, a *ETo* apresentou maior grau de correlação com a *n*, obtendo um coeficiente de correlação moderado, *R* igual à 0,53. Segundo Chang (1968) a radiação é considerada o elemento climático de maior importância na estimativa da evapotranspiração. De forma geral, em uma região com maior disponibilidade de

energia solar, a temperatura do ar e o vento e quanto menor a umidade relativa do ar, maior deverá ser também, a taxa de evapotranspiração (CUNHA & ESCOBEDO, 2003; EVANGELISTA & PEREIRA, 2003; FIETZ & FISCH, 2009).

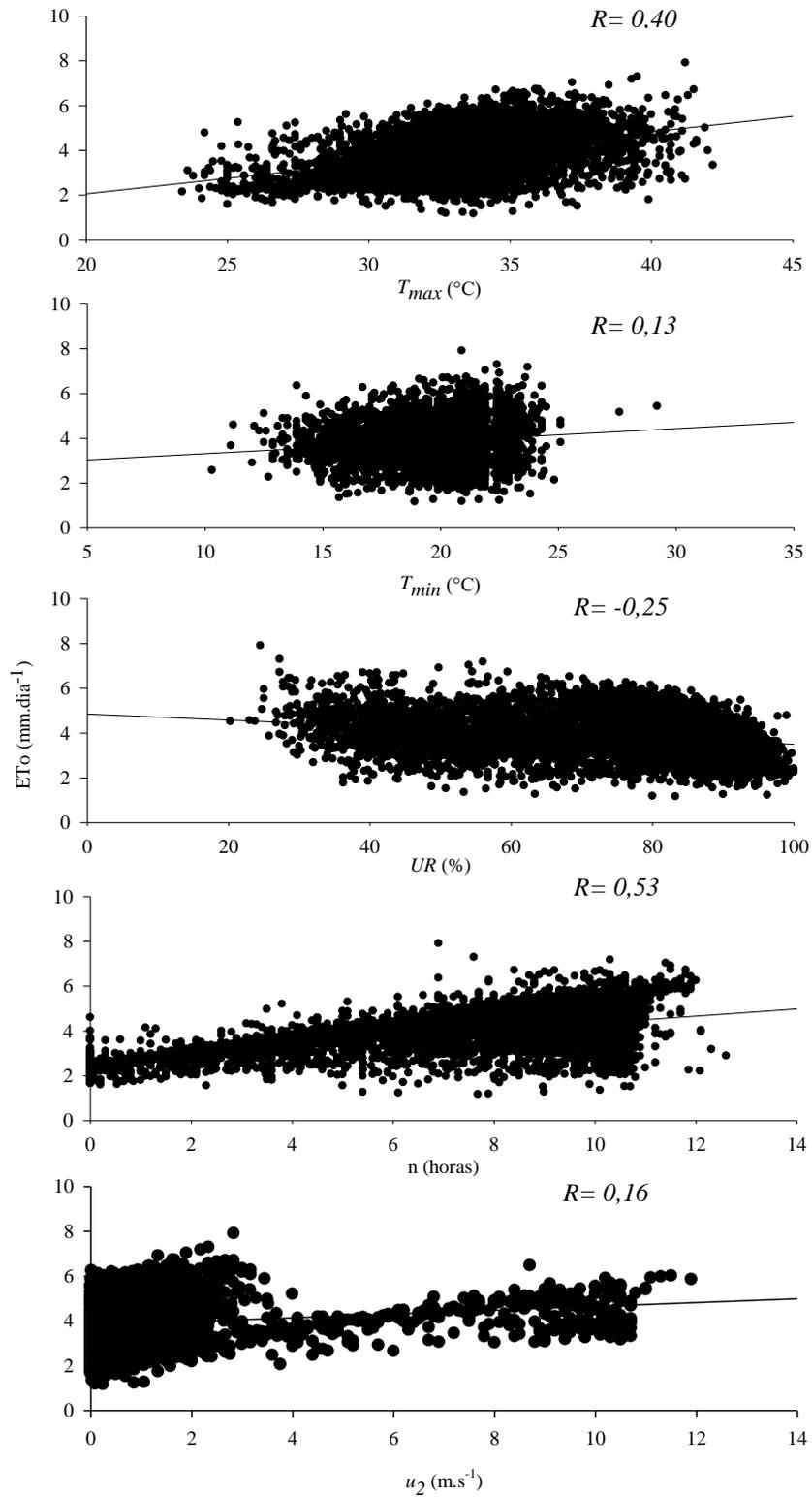


Figura 10: Correlação linear entre as variáveis climatológicas e a ET_0 para a estação localizada no município de Canarana, MT, para o período de 2000 a 2016.

A Figura 10 apresenta os dados da Correlação Linear entre as variáveis climatológicas e ET_o para a estação localizada na Gleba Celeste (Sinop) no período de 2000 à 2015.

Dentre as variáveis climatológicas utilizadas como base para o cálculo de ET_o , a n , T_{max} , apresentaram grau de correlação de 0,65 e 0,61, respectivamente. Porém, a UR também apresentou boa correlação com ET_o , no entanto, a correlação foi negativa (-0,50), ou seja, enquanto a n e T_{max} fizeram a ET_o aumentar, a UR foi responsável pela diminuição.

Isso pode ser explicado pelo fato de que, o aumento do número de horas de brilho solar contribui consequentemente para o aumento da temperatura do ar, provocando aumento da pressão de saturação de vapor, tornando maior a demanda evaporativa do ar (PEREIRA et al., 2002).

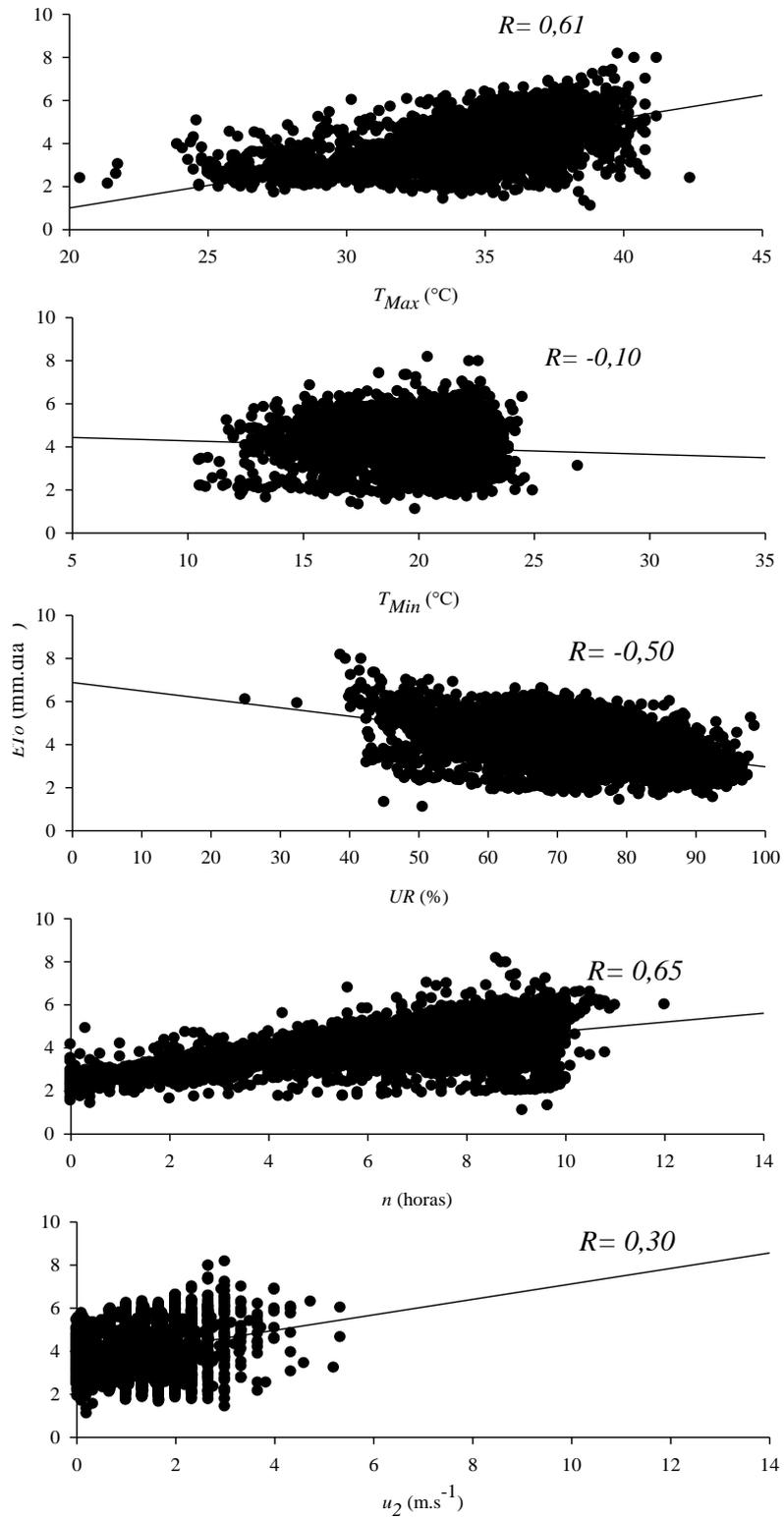


Figura 11: Correlação linear entre as variáveis climatológicas e ET_0 para a estação localizada na Gleba Celeste (Sinop), MT, para o período de 2000-2015.

Para a estação localizada no município de Matupá, os dados de correlação linear entre as variáveis meteorológicas e ET_o estão apresentados na Figura 11.

Os dados de n e T_{max} apresentaram coeficiente de correlação igual 0,67 e 0,56, respectivamente, ou seja, dentre os dados usados para estimar ET_o , o número de horas de brilho solar obteve maior correlação, apresentando assim maior contribuição para as variações de ET_o durante o período estudado. Xing et al. (2016), ao estudarem a determinação de parâmetro climáticos dominantes da evapotranspiração de referência no sul da China usando o mesmo método, n foi a variável que apresentou maior dominância da ET_o em todas as localidades estudadas, apresentando um coeficiente de correlação igual a 0,87.

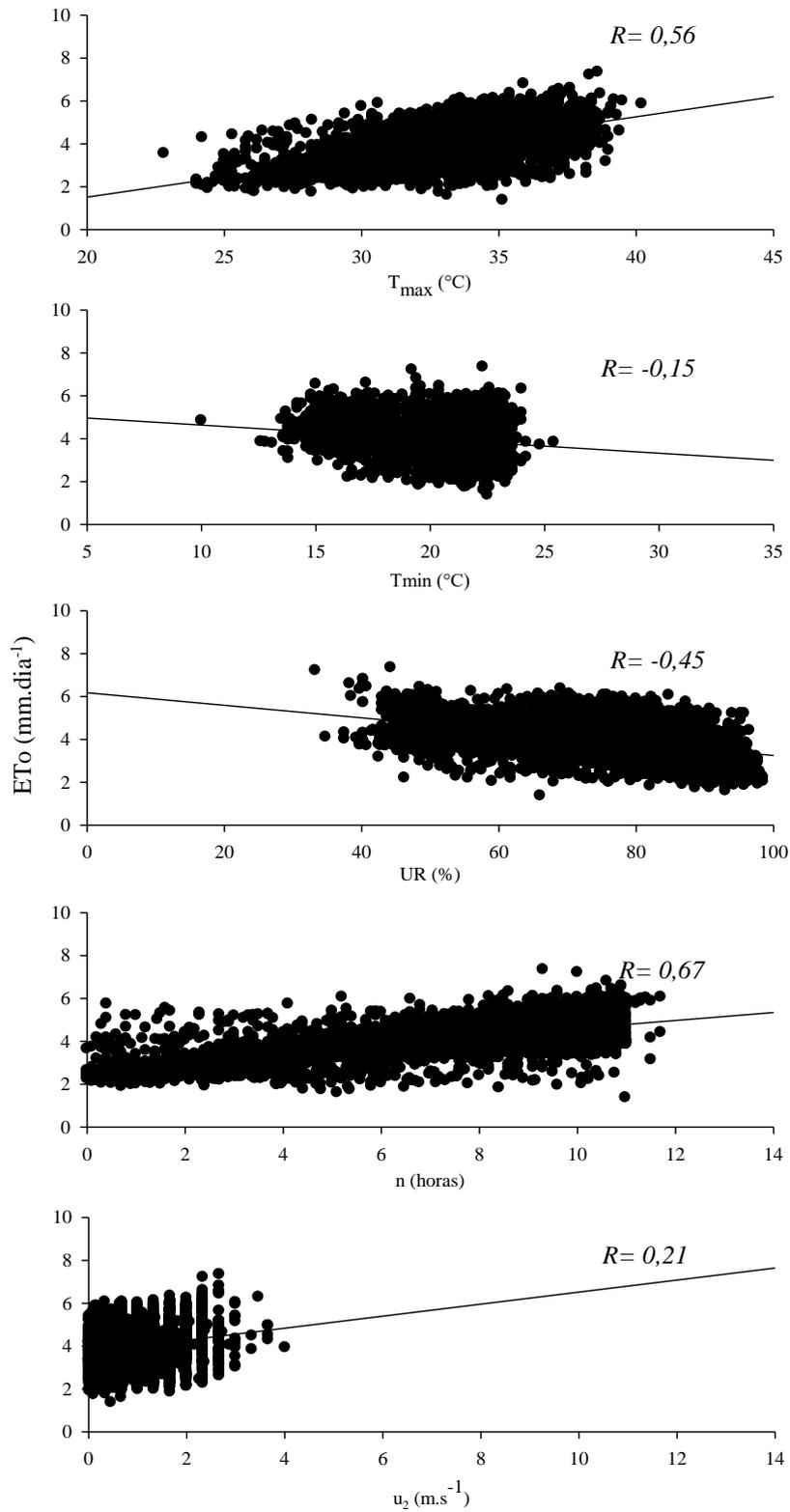


Figura 12: Correlação Linear entre as variáveis climatológicas e ET_0 para a estação localizada no município de Matupá, MT, no período de 2004 à 2016.

O teste de correlação linear para os dados meteorológicos e a ET_o da estação localizada no município de São José do Rio Claro, variaram de -0,53 a 0,85 (Figura 12).

Os dados de n , T_{max} e UR apresentaram maior correlação com ET_o , sendo que, o coeficiente de correlação de 0,85 indicou que n apresentou maior influência sobre ET_o durante o período estudado. Este comportamento foi observado, em parte, por Caixeta (2009) trabalhando em Viçosa-MG e utilizando duas metodologias para estimar evapotranspiração de referência. Onde, pôde-se constatar que o elemento meteorológico que apresentou maior correlação com a estimativa de evapotranspiração de referência foi à radiação solar, seguida pela temperatura máxima do ar.

Ele ainda afirma que o efeito indireto da temperatura máxima do ar, se deu pela relação de causa e efeito com a radiação, ou seja, maior disponibilidade de radiação, maior é o aquecimento da superfície. No entanto, UR , apresentou coeficiente de correlação negativa com ET_o (-0,53).

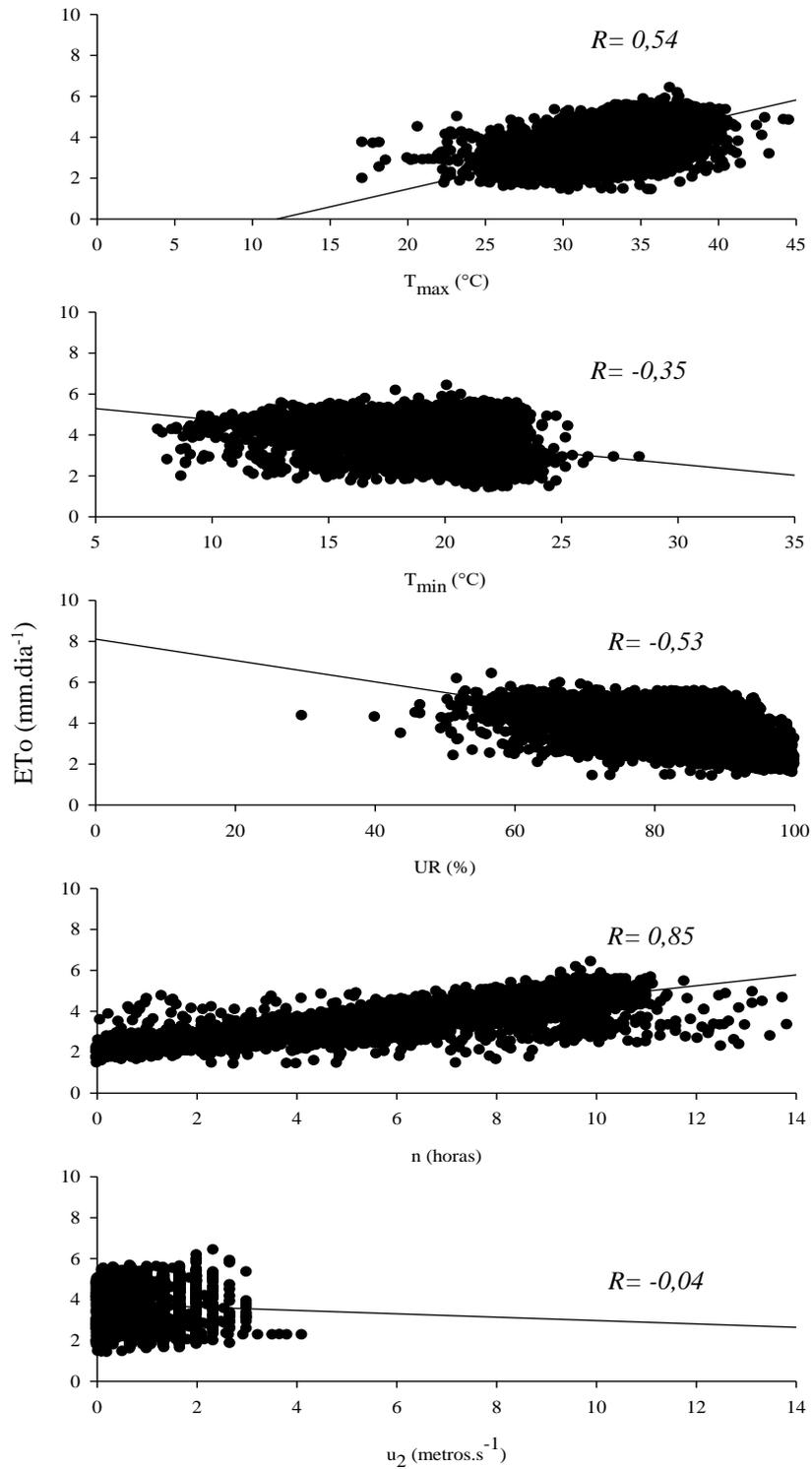


Figura 13: Correlação Linear entre as variáveis climatológicas e ET_0 para a estação localizada no município de São José do Rio Claro, MT, no período de 2000 à 2015.

Apesar de apresentar aumento significativo segundo o análise de tendência de Mann-Kendall ($z = 0,382$, $pvalue = 0,036$) somente na estação localizada no município de Matupá, o número de horas de brilho solar (n) foi a variável que apresentou maior coeficiente de correlação com o ET_o (0,53, 0,65, 0,67 e 0,85) em todas as localidades estudadas. O que mostra que mesmo havendo variação significativa em outras variáveis, para os municípios estudados, o n é a maior responsável pela variabilidade da Demanda evaporativa da atmosfera nas quatro localidades estudadas. Já para Payero et al. (2006) a velocidade do vento foi a variável que apresentou maior influência, contudo, para Zang et al. (2017) n foi a variável mais influente, obtendo correlação de moderada a forte em cinco das nove localidades estudadas, corroborando com o presente trabalho.

De maneira geral, o processo de evapotranspiração é determinado pela quantidade de energia disponível para evaporar a água. Portanto, a radiação solar é a mais importante fonte de energia no planeta e pode transformar grande quantidade de água líquida em vapor de água (ALLEN et al., 2006), controlando assim o processo de troca de água entre a superfície e a atmosfera.

CAPÍTULO IV

5 - CONCLUSÃO

Notadamente, pelo menos uma das variáveis apresentaram tendências significativas nas quatro localidades estudadas, porém, somente a temperatura máxima do ar apresentou tendência significativa em todas elas. A temperatura aumentou, na ordem de $0,05^{\circ}\text{C}$ por ano, totalizando $0,85^{\circ}\text{C}$ durante o período estudado.

A variável que mais contribuiu para a variabilidade da Evapotranspiração de referência nas estações localizadas nos municípios de Canarana, Gleba Celeste (Sinop), Matupá e São José do Rio Claro foi o número de horas de brilho solar (n), apresentando coeficiente de correlação de moderado a forte (0,53; 0,65; 0,67 e 0,85, respectivamente).

A Evapotranspiração de Referência apresentou tendência significativa apenas na estação localizada em Canarana, com tendência negativa, variando 8,4 mm por ano.

Mesmo as quatro áreas estudadas estando localizadas em regiões com altos índices pluviométricos, os meses mais secos do ano apresentaram Índice de Aridez semelhantes a regiões desérticas, em torno de 1, caracterizando a aridez como de média a alta. O que influencia negativamente na implantação das culturas de inverno cultivadas na região norte mato-grossense.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1. BIBLIOGRAFIA CITADA

ALENCAR, L.P.; MANTOVANI, E.C.; BUFON, V.B.; SEIYAMA, G.C.; SILVA, T.GF. Variação dos elementos climáticos e da ETo em Catalão, Goiás, no período de 1961-2011. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 8, p. 826-832, 2014.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **FAO - Irrigation and Drainage**. Nº 56, 300 p. 2006.

PAYERO, J. O.; MARTIN, D. L.; HOWELL, T. A. Sensitivity Analyses and Sensitivity Coefficients of Standardized Daily ASCE-Penman-Monteith Equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. n. 6, p. 564-578, 2006.

AVOR, D.; MEIRELLES, M.; DUBREUIL, V.; BÉGUÉ, A.; SHIMABUKURO, Y.E. Analyzing The Agricultural Transition in Mato Grosso, Brazil, Using Satellite-Derived Indices. **Applied Geography**. n. 32, p. 702-713, 2012.

BRANNSTROM, C. South America's neoliberal agricultural frontiers: places of environmental sacrifice or conservation opportunity? **Ambio**, 38, p. 141-149. 2009.

BRONSTERT, A.; Niehoff, D.; Bürger, G. Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. **Hydrol. Process**. n. 16, vol. 02, p. 509–529, 2002.

BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; STEINMETZ, S.; SCHVAMBACH, J.L.; DIDONE, M.A. Regionalização das temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz para a região climática da Depressão Central, RS. **Ciência Rural**, v.30, p.1-10, 2000.

CARDOSO, G.M.; JUSTINO, F. Simulação dos Componentes da Evapotranspiração Sob Condições Climáticas Atuais e de Cenários Climáticos Futuros de Aquecimento Global com o Uso de Modelos de Clima-Vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 29, n. 01, p. 85-95, 2014.

CHANG, J. **Climate and agriculture: An ecological survey**. Chicago: Aldine Publishing Company, 304p. 1968.

CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F. Alterações micrometeorológicas causadas pela estufa plástica e seus efeitos no crescimento e produção da cultura de pimentão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.11, n.1, p.15-26, 2003.

DAS, A.; PARK, J.; PARK, J. Estimation of available global solar radiation using sunshine duration over South Korea. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. n. 134, p. 22-29, 2015.

DE LA CASA, A.C.; OVANDO, G.G. Variation of reference evapotranspiration in the central region of Argentina between 1941 and 2010. **Journal of Hydrology: Regional Studies**. n. 5, p. 66-79, 2016.

DIAS, L.C.P.; MACEDO, M.N.; COSTA, M.H.; COE, M.T.; NEILL, C. 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**. n. 4, p. 108–122, 2015.

DOUGLAS, E.M.; JACOBS, J.M.; SUMNER, D.M.; RAY, R.L. A comparison of models for estimating potential evapotranspiration for Florida land cover types. **Journal of Hydrology**. n. 373, p. 366–376, 2009.

EVANGELISTA, A.W.P.; PEREIRA, G.M. Avaliação de dois tipos de evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência, no interior de casa de vegetação. **Ciência e Agrotecnologia**. v.27, n.6, p.1348-1353, 2003.

FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates and Consequences. **Conservation Biology**. v. 19, n. 03, p. 680-688, 2005.

FIETZ, C.R.; FISCH, G.F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.4, p.449-453, 2009.

GAO, Z., HE, J., DONG, K., LI, X. Trends in reference evapotranspiration and their causative factors in the West Liao River basin, China. **Agricultural and Water Management**. n. 232, p. 106-117, 2017.

HAO, L.; ZHANG, X.; GAO, J. Simulating human-induced changes of water resources in the upper Xiliaohe river basin, China. **Environ. Eng. Manag. J.** n. 10, p. 787–792, 2011.

HENNING, A.A.; ALMEIDA, A.M.R.; GODOY, C.V.; SEIXAS, C.D.S.; YORINORI, J.T.; COSTAMILAN, L.M.; FERREIRA, L.P.; MEYER, M.C.; SOARES, R.M.; DIAS, W.P. Documento 256: Manual de identificação de doenças de soja. **EMBRAPA**. 5ª edição, 76p. 2014.

HESPANHOL, A.N. A expansão da agricultura moderna e a integração do Centro-oeste brasileiro à economia nacional. **Caderno Prudentino de Geográfica**. Presidente Prudente. Julho 2000.

HICKS, D. R. 2 - Growth and Development A2 - NORMAN, A. GEOFFREY. In: (Ed.). **Soybean Physiology, Agronomy, and Utilization**: Academic Press, p.17-44. 1978.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acessado em: 15 de julho de 2017.

IRMAK, S.; PAYERO, J.O.; MARTIN, D.L.; IRMAK, A.; HOWELL, T.A. Sensitivity Analyses and Sensitivity Coefficients of Standardized Daily ASCE-Penman-Monteith Equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v. 132, n. 06, p. 654-578, 2006.

IPCC. Observations: Atmosphere and Surface, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press, New York, p. 1535, 2014.

JAGADISH, S.V.K.; MURTY, M.V.R.; QUICK, W.P. Rice responses to rising temperatures challenges, perspectives and future directions. **Plant Cell Environmental**. v. 38, n. 9, p. 1686-1698, 2015.

KENDALL, M.G.. **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London. p. 220, 1975

KUINCHTNER, A.; SIMOES, J.C.; BURIOL, G.A. Variabilidade da temperatura do ar próximo à superfície no Planalto Meridional-Riograndense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.15, p.232-240, 2007.

LATHUILLIÈRE, M.J.; JOHSON, M.S.; DONNER, S.D. Water used by terrestrial ecosystems: temporal variability in rainforest and agricultural contributions to evapotranspiration in Mato Grosso, Brazil. **Environmental Research Letters**. n. 07, p. 1-13, 2012.

LATHUILLIERE, M.J.; MIRANDA, E.J.; BULLE, C.; COUTO, E.G.; JOHNSON, M.S. Land occupation and transformation impacts of soybean production in Southern Amazonia, Brazil. **Journal of Cleaner Production**. n. 147, p. 680-689, 2017.

LEMOS FILHO, L.C.A.; CARVALHO, L.G.; EVANGELISTA, A.W.P.; ALVES JUNIOR, J. Análise espacial da influência do elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Agriambi**. v. 14, n. 12, p. 1294-1303, 2010.

LI, Y., YAO, N., CHAU, H.W. Influences of removing linear and nonlinear trends from climatic variables on temporal variations of annual reference crop evapotranspiration in Xinjiang, China. **Science of the Total Environment**. n. 592, p. 680-692, 2017.

LIANG, L.; LIJUAN, L.; ZHANG, L.; LI, J. Sensitivity of PenmanMonteith reference crop evapotranspiration in Tao'er River Basin of northeastern China. **Chinese Geographical Science**, v.18, n.4, p. 340-347, 2008.

MAHMOOD, R., QUINTANAR, A.I., CONNER, G., LEEPER, R., DOBLER S. Department of Geography and Geology, and Kentucky Climate Center. **American Meteorological Society**, n. 91, p. 37-46, 2010.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**. n. 13, p. 245-259. 1945.

MUELLER, C. et al.(2002). **Análise da expansão da soja no Brasil**. Brasília: Banco Mundial,.[On line]. <www.worldbank.org/rfpp/news/debates/mueller.pdf>. [01 de agosto de 2017.

NAM, W., HONG, E., CHOI, J. Has climate change already affected the spatial distribution and temporal trends of reference evapotranspiration in South Korea? **Agricultural and Water Management**. n. 150, p. 129-138, 2015.

NIMER, E.; BRANDÃO, A.M.P.M. Balanço hídrico e clima da região dos cerrados. Rio de Janeiro: **IBGE**, 166p. 1989.

NOETZOLD, R.; ALVES, M.C.; CASSETARI NETO, D.; MACHADO, A.Q.. Variabilidade espacial e *Colletotrichum truncatum* em campo de soja sob três níveis de sanidade de sementes. **Summa Phytopathologica**, v.40, n.1, p.16-23, 2014

OLCHEV, A.; IBROM, A.; PRIESS, J.; ERASMI, S.; LEEMHUIS, C.; TWELE, A.; RADLER, K.; KREILEIN, H.; PANFEROV, O.; GRAVENHORST, G. Effects of land-use changes on evapotranspiration of tropical rain forest margin area in Central Sulawesi (Indonesia): modelling study with a regional SVAT model. **Ecological Modelling**. n. 212, p. 131–137, 2008.

OLIVEIRA, J.B.; BARBOSA, P.J.A.; NOGUEIRA, D.H.; ARAÚJO, E.M.; ARRAES, F.D.D. Influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Tauá, no Ceará. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 02, n. 04, p.403-411, 2017.

OLIVEIRA, R.P.; SCIVITTARO, W.B. Produção de frutas de morango em função de diferentes períodos de vernalização das mudas. **Horticultura Brasileira**. n. 27, p. 91-95, 2010.

ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. **Irrigation Science**. v.28, n.1, p. 1–3, 2009.

PENG, S., HUANG, J., SHEEHY, J.E., LAZA, R.C., VISPERAS, R.M., ZHONG, X., CENTENO, G.S., KHUSH, G.S., CASSMAN, K.G. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. **National Academy of Sciences of the USA**. v.101, n.27, p.9971-9975, 2004.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Agropecuária. v. 01, 478p. 2002.

PIAO, S.L., MOHAMMAT, A., FANG, J.Y., CAI, Q., FENG, J.M.. NDVI-based increase in growth of temperate grasslands and its responses to climate changes in China. **Global Environment Change**. n. 16, p. 340-348, 2006.

PIELKE, R.A., MARLAND, G., BETTS, R.A., CHASE, T.N., EASTMAN, J.L., NILES, J.O., NIYOGI, D.D.S., RUNNING, S.W. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. **Phil. Trans.: Math. Phys. Eng. Sci.**, n. 360, p. 1705-1719, 2002.

RODRIGUES JUNIOR, U.J.; BAMPI, A.C. Análise do uso dos recursos hídricos com base no relatório GRI (*global reporting initiative*) pelas corporações do agronegócio na Amazônia Meridional mato-grossense. **Nativa**. n. 01, v. 02, 17p, 2014.

RODRIGUES, T.R., VOURLITIS, G.L., LOBO, F.A., DE OLIVEIRA, R.G., NOGUEIRA, J.S. 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, p. 1–13, 2014.

SALAZAR, A., BALDI, G., HIROTA, M., SYKTUS, J., MCALPINE, C. Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. **Global and Planetary Change**. n. 128, p. 103-119, 2015.

SANCHES, F.M.; XIMENES, A.R.; CORADI, P.C.; ROQUE, C.G.; CUNHA, F.F. Estimativa da Evapotranspiração de referência na Região Norte do Brasil. **Revista de Ciências Agroambientais**. v. 13, n. 02, p.19-31, 2015.

SANTOS, L.L.; SEABRA JUNIOR, S.; NUNES, M.C.M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambiente de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**. v. 08, n. 01, p. 83-93, 2010.

SETTE, D. M.; TARIFA, J. R. A estrutura pluvial e as paisagens no Mato Grosso – Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 4, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2000

SHI, W.; XIAO, G.; STRUIK, P.C.; JAGADISH, K.S.V.; YIN, X. Quantifying source-sink relationships of rice under high night-time temperature combined with two nitrogen levels. **Field Crop Research**. v. 202, p. 36-46, 2017.

SILVA, E.H.F.M.; PEREIRA, R.A.A.; ANTOLIN, L.A.S.; FATTORI JUNIOR, I.; MARIN, F.R. Análise de sensibilidade com base em parâmetros relacionados a temperatura e fotoperíodo no modelo DSSAT/CROPGRO-SOYBEAN. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**. v. 25, n. 01, p. 1-8, 2017.

SILVA, J.B.; LLOPART, M.P.; BOIASKI, N. Temperatura máxima do ar em Pelotas, RS – Tabelas de probabilidades em escalas de tempo pentadal. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 20, n. 02, p. 267-276, 2005.

SILVANO, M.F.; GROppo, J.D.; PELLEGRINO, G.P. Análise de tendência em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 31, n. 01, p. 64-73, 2016.

SILVEIRA, M.F.; KÖRBES, P.J. O mercado futuro como alternativa para minimizar os riscos de preços dos produtores de soja do Médio-Norte de Mato Grosso. **VII Ciclo de Palestra em Ciências Sociais Aplicadas. Sinop, MT. 2017. Disponível em:** <http://sinop.unemat.br/projetos/ciclodopalestrasemcsa/historico/1/07.pdf>. Acesso em, 14 de agosto de 2017.

SIMON, M.F.; GARAGORRY, F.L. The Expansion of agriculture in the Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**. n.32, v. 2, p. 203-212, 2005.

SOUZA, A.P., MOTA, L.L., ZAMADEI, T., MARTINS, C.C., ALMEIDA, F.T., PAULINO, J. Classificação Climática e Balanço Hídrico Climatológico no Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agrárias e Ambientais**. v. 01, n. 01, p. 34-43, 2013.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F.N. de; BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; AMARAL, A.G.; FERREIRA, J.S.A. Regionalização do risco de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz no Estado do Rio Grande do Sul. **Agropecuária Clima Temperado**. v.1, p.79-91, 2001^a

STEINMETZ, S.; ASSIS, F.N. de; BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; DIDONÉ, I.A.; OLIVEIRA, H.T. de; SIMONETI, C. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas do ar prejudiciais à fecundação das flores de arroz em distintas regiões produtoras do estado do Rio Grande do Sul. **Agropecuária Clima Temperado**. v.4, p.63-77, 2001b.

STRECK, N. A., GABRIEL, L.F., BURIOL, G.A., HELDWEIN, A.B., PAULA, G.M. Variabilidade interdecadal na série secular de temperatura do ar em Santa Maria, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.8, p.781-790, 2011.

SUN, G.; ALSTAD, K.; CHEN, J.; CHEN, S.; FORD, C.R.; LIN, G.; LIU, C.; LU, N.; MCNULTY, S.G.; MIAO, H. A general predictive model for estimating monthly ecosystem evapotranspiration. **Ecohydrology**. n.4, p. 245–255, 2011a.

SUN, G.; CALDWELL, P.; NOORMETS, A.; MCNULTY, S.G.; COHEN, E.; MOORE, M.J.; DOMEK, J.C.; TREASURE, E.; MU, Q.; XIAO, J. Upscaling key ecosystem functions across the conterminous United States by a water-centric ecosystem model. **J. Geophys. Res. Biogeosci.** n. 116, 2011b.

SUN, H.Y., WANG, C.Y., NIU, Z., BUKHOSOR,. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data. **J. Rem. Sens.** n. 2, v. 3, p. 204–210, 1998.

TAFNER JUNIOR, A.W, SILVA, F.C. A expansão da fronteira agropecuária do Oeste Paulista para a Amazônia: A Trajetória dos Negócios da Família Ometto e Seus Desdobramentos no Mato Grosso. **Revista de Estudos Sociais**. n 31, v 16, p. 97, 2014.

TANG, Z., MA, J., PENG, H., WANG, S., WEI, J., Spatiotemporal changes of vegetation and their responses to temperature and precipitation in upper Shiyang river basin. **Advances in Space Research**. n. 60, p. 969-979. 2017.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**. n. 38, p. 55-94, 1948.

VICENTE-SERRANO, S.M.; DER SCHRIER, G.V.; BEGUERÍA, S.; AZORIN-MOLINA, C.; LOPEZ-MORENO, J. Contribution of precipitation and reference evapotranspiration to drought indices under different climates. **Journal of Hydrology**. n. 526, p. 42-54, 2015.

WANG, Z.; XIE, P.; LAI, C.; CHEN, X.; WU, X.; ZENG, Z.; LI, J. Spatiotemporal variability of reference evapotranspiration and contributing climatic factors in China during 1961–2013. **Journal of Hydrology**. n. 544, p. 97-108, 2017.

WARAICH, E.A.; AHMAD, R.; HALIM, A.; AZIZ, T. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. **Journal of Soil Science Plant Nutritional**. v. 12, n. 2, p. 221-244, 2012.

WHITBECK, K.L., OETTER, D.R., PERRY, D.A., FYLES, J.W., Interactions between macroclimate, microclimate, and anthropogenic disturbance affect the distribution of aspen near its northern edge in Quebec: Implications for climate change related range expansions. **Forest Ecology and Management**. n. 368, p. 194-206, 2016.

XIE, G.D., ZHANG, Y.L., LU, C.X., ZHENG, D., CHENG, S.. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. **Journal Nat. Resources**. n. 16, p. 47-53, 2001.

XING, X.; LUI, Y.; ZHAO, Y.; KANG, D.; YU, M.; MA, X. Determination of dominant weather parameters on reference evapotranspiration by path analysis theory. **Computers and Electronics in Agriculture**. n. 120, p. 10-16. 2016.

XU, F.; BAO, H.X.H.; LI, H.; KWAN, M.P.; HUANG, X. Land use policy and spatiotemporal changes in the water area of an arid region. **Land Use Policy**. n. 54, p. 366–377, 2016.