



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA  
EM BRASÍLIA, DF: CONTRIBUIÇÃO DOS  
TERMOS RADIATIVO E AERODINÂMICO  
DA EQUAÇÃO DE PENMAN-MONTEITH**

**Daniela Patricia Balduino**

**Brasília, DF**  
**Dezembro de 2017**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**DANIELA PATRICIA BALDUINO**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA  
EM BRASÍLIA, DF: CONTRIBUIÇÃO DOS  
TERMOS RADIATIVO E AERODINÂMICO  
DA EQUAÇÃO DE PENMAN-MONTEITH**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Profa. Dra. Selma Regina Maggiotto

**Brasília, DF**  
**Dezembro de 2017**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**Termo de Aprovação**

Autor: Daniela Patricia Balduino

Título: Evapotranspiração de referência em Brasília, DF: contribuição dos termos radiativo e aerodinâmico da equação de Penman-Monteith.

Monografia de conclusão do Curso de Graduação em Agronomia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB.

Aprovada em: Brasília, 12 de dezembro de 2017.

Banca Examinadora:

---

Profa. Dra. Selma Regina Maggiotto  
Universidade de Brasília - UnB  
Orientadora

---

Profa. Dra. Michelle Souza Vilela  
Universidade de Brasília – UnB  
Examinadora

---

Prof. Dr. João José da Silva Júnior  
Universidade de Brasília – UnB  
Examinador

BALDUINO, Daniela Patrícia. Evapotranspiração de referência em Brasília, DF: contribuição dos termos radiativo e aerodinâmico da equação de Penman-Monteith. 2017. 29 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília – UnB.

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo analisar a dinâmica temporal (mês a mês e ano a ano) das taxas da evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith (ET<sub>o</sub>), e dos seus termos aerodinâmico e radiativos. Foram utilizados dados meteorológicos de 16 anos (2000-2015) coletados na estação automática da Fazenda Água Limpa, UnB. Ao longo dos anos de estudo o período do inverno foi o que apresentou maior variação no percentual do termo radiativo e aerodinâmico, sendo que o primeiro apresentou valores mínimos e o segundo valores máximos. Apesar da variação observada, a componente radiativa foi maior para todo o período de estudo. A proporção do termo radiativo na média anual foi de 81,43% enquanto o termo aerodinâmico representou 18,57%. A ET<sub>o</sub> apresentou taxas mais altas nos meses de fevereiro, setembro e outubro, enquanto os meses de maio, junho e julho registraram os menores valores. Na avaliação das variáveis temperatura média, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar, foi possível observar que as maiores taxas de umidade relativa ocorreram no período chuvoso (primavera/verão) e as menores no inverno. A temperatura também apresentou comportamento semelhante. A radiação solar foi maior nos meses de fevereiro, setembro e outubro, enquanto no outono essa taxa decresceu. Ventos mais fortes ocorrem nos meses de julho a novembro e os menores valores foram registrados nos meses de março a maio.

Palavras-Chave: Evapotranspiração, Penman-Monteith, Aerodinâmico, Radiativo.

*“Como posso perder a fé na justiça da vida, se os  
sonhos dos homens que dormem em colchão de penas  
não são mais bonitos do que os sonhos dos homens  
que dormem no chão”*

*Dostoiévski*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, por guiar meus passos e pela oportunidade de me sentir realizada fazendo o que mais amo.

Agradeço à minha família, pai, mãe e irmã. Em especial à minha querida irmã Adriana, por todo o amor, paciência, carinho, conselhos e todo o tempo que sempre dedicou a mim, te amo muito.

Agradeço à minha querida família, tios e primos, Edmar, Raquel, Jaqueline e Guilherme, vocês são muito especiais para mim, levo vocês no meu coração por onde eu for.

À minha orientadora, professora Selma Regina Maggiotto, pela dedicação paciência e amizade única, a quem agradeço de todo coração por toda confiança depositada em mim, sem a qual esse trabalho não seria possível.

Aos professores Cícero Célio de Figueiredo e Michelle Souza Vilela, José Alves Júnior, por me inspirarem durante todo o curso a amar aquilo que escolheram fazer. E a todos os demais professores que contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

Aos amigos queridos que me apoiaram e que trazem alegria para minha vida, muito obrigada. Em especial à minha querida amiga Nicole Marie.

A todos que sempre me incentivaram e estiveram ao meu lado, muito obrigada por tudo!

## Sumário

1	Introdução .....	1
2	Revisão de literatura .....	2
2.1	Evapotranspiração .....	2
2.2	Método Penman-Monteith .....	4
2.3	Fatores que afetam a evapotranspiração .....	5
3	Objetivos .....	9
4	Material e Métodos .....	10
5	Resultados e Discussão .....	13
5.1	Dinâmica temporal das variáveis observadas .....	13
5.2	Dinâmica temporal da ETo .....	15
5.3	Contribuição dos termos radiativo e aerodinâmico.....	22
6	Conclusões .....	25
7	Referências Bibliográficas .....	26

## Índice de Tabelas

Tabela 1. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2000: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da $ET_o$ mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	16
Tabela 2. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2001: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	16
Tabela 3. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2002: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	16
Tabela 4. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2003: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	17
Tabela 5. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2004: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	17
Tabela 6. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2005: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da $ET_o$ mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	17
Tabela 7. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2006: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	18
Tabela 8. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2007: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	18



Tabela 9. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia <sup>-1</sup> ) calculada para 2008: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	18
Tabela 10. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia <sup>-1</sup> ) calculada para 2009: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	19
Tabela 11. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia <sup>-1</sup> ) calculada para 2010: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	19
Tabela 12. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia <sup>-1</sup> ) calculada para 2011: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da $ET_o$ mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	19
Tabela 13. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia <sup>-1</sup> ) calculada para 2012: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da $ET_o$ mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	20
Tabela 14. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia <sup>-1</sup> ) calculada para 2013: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	20
Tabela 15. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia <sup>-1</sup> ) calculada para 2014: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da $ET_o$ mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	20
Tabela 16. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia <sup>-1</sup> ) calculada para 2015: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da $ET_o$ mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017. ....	21
Tabela 17. Evapotranspiração de referência anual ( $ET_o$ , em mm) calculada para o período de 2000 a 2015: estatística descritiva anual, e nível de contribuição dos	

termos radiativo ( $ET_{\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília,  
DF, 2017..... 22

## Índice de Figuras

Figura 1. Variação da temperatura média mensal (em °C) e da umidade relativa média mensal (em %) durante o período de estudo. Dados coletados na estação meteorológica da Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. ....	13
Figura 2. Variação da radiação solar média mensal (em MJ/m <sup>2</sup> ) e da velocidade do vento média mensal (em m/s) durante o período de estudo. Dados coletados na estação meteorológica da Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. ....	14
Figura 3. Contribuição dos termos radiativo (ET <sub>o</sub> rad) e aerodinâmico (ET <sub>o</sub> aero) na estimativa da evapotranspiração de referência utilizando o método de Penman-Monteith. Fazenda Água Limpa, Brasília, DF. ....	22

# 1 Introdução

O adequado suprimento de água para as culturas permite melhor desenvolvimento vegetativo e exploração do potencial produtivo. Para tanto é necessário estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). O conhecimento das perdas por evaporação e transpiração é fundamental no dimensionamento de projetos de irrigação, seu manejo e também no gerenciamento de reservatórios, outorga e planejamento do uso da água. A evapotranspiração é a quantidade de água evaporada ou transpirada pelas plantas por unidade de tempo, sendo assim expressa em mm por dia.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) representa a perda de água para a atmosfera de uma superfície padrão gramada, cobrindo a superfície do solo e sem restrição de umidade. O método Penman-Monteith foi determinado como padrão para estimativa de ET<sub>o</sub>, recomendado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), conforme consta no Boletim FAO-56. Apesar da eficácia em determinar ET<sub>o</sub>, há alguma dificuldade em se utilizar o modelo de Penman-Monteith devido à necessidade de diversos elementos meteorológicos, que nem sempre estão disponíveis, pela dificuldade em encontrar estações meteorológicas completas em algumas regiões.

A equação de Penman-Monteith combina os termos radiativo e aerodinâmico. O primeiro termo é composto pelas variáveis relacionadas ao saldo de radiação, temperatura do ar e fluxo de calor no solo, enquanto o segundo termo estima o poder evaporativo da atmosfera, sendo calculado a partir do déficit de pressão de vapor, temperatura do ar e velocidade do vento.

Este trabalho tem por objetivo analisar a dinâmica temporal das taxas de ET<sub>o</sub> estimada pela equação de Penman-Monteith, mês a mês e ano a ano, e de seus termos aerodinâmico e radiativo. Além disso, busca analisar a contribuição das variáveis meteorológicas medidas para os valores dos termos aerodinâmico e radiativo, utilizando dados meteorológicos da estação automática da Fazenda Água Limpa, UnB.

## 2 Revisão de literatura

### 2.1 Evapotranspiração

Na década de 1940, dois pesquisadores deram uma importante contribuição aos estudos da evapotranspiração com a publicação de um artigo denominado “An Approach Towards a Rational Classification of Climate” de Warren Thornthwaite em 1948. Até hoje, o termo é reconhecido como a combinação da evaporação direta de uma superfície úmida com a transpiração de um vegetal. No mesmo ano, outro artigo com a mesma importância histórica e científica foi publicado por Howard Penman: “Natural Evaporation from Open Water, Bare Soils and Grass” (SEDIYAMA, 1996).

Os autores Camargo e Camargo (2000) apontam como grande contribuição para a área da evapotranspiração a consideração de Thornthwaite sobre o conceito de evapotranspiração potencial, que colocou a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) como um elemento meteorológico padrão, fundamental, representando a precipitação necessária para atender às carências de água da vegetação.

Evapotranspiração de referência é um conceito que caracteriza a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera, sob condições padronizadas, ou seja, área com extensa superfície natural, totalmente coberta por vegetação baixa, de altura uniforme e com elevado índice de área foliar (IAF), de crescimento ativo na fase adulta e teor de água no solo próximo a capacidade de campo (CARVALHO et al., 2011).

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 as mudanças na gestão do balanço hídrico (ORTEGA-FARIAS et al., 2009).

Devido à importância do processo de transferência de água para a atmosfera na forma de vapor e a sua complexidade, envolvendo característica do solo, da vegetação e da atmosfera, muito esforço tem sido despendido por pesquisadores

do mundo inteiro na compreensão e estabelecimento de métodos de estimativa desse processo (HENRIQUE, 2006).

Segundo Pereira et al. (1997), a ETo pode ser estimada por métodos classificados como diretos e indiretos. A determinação direta é realizada utilizando equipamentos, como o lisímetro, porém esses equipamentos possuem elevado custo e são mais restritos ao uso para pesquisa. Já a determinação indireta é baseada na aplicação de modelos matemáticos, que utilizam dados climatológicos medidos em estações meteorológicas.

O interesse na utilização de métodos indiretos é justificável pelo fato do método padronizado pela FAO para estimativa da ETo exigir a disponibilidade de um número considerável de variáveis climatológicas, tornando-o muitas vezes pouco aplicável em regiões nas quais esse tipo de informação é incipiente, e onde verifica-se deficiência no monitoramento total dos elementos meteorológicos (CAMARGO; CAMARGO, 2000).

Os principais elementos climáticos que afetam a evapotranspiração são: radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento. O tipo da cultura, a densidade, a variedade e a fase de crescimento também afetam a evapotranspiração, já que diferenças na resistência estomática, altura da cultura, rugosidade do dossel, refletividade e cobertura do solo pela vegetação resultam em diferentes valores de ET sob as mesmas condições climáticas e de solo (ALLEN et al., 1998). Existem vários métodos para estimar a evapotranspiração, mas suas performances em diferentes ambientes variam, já que a maioria apresenta empirismo em sua concepção (SENTELHAS et al., 2010).

O conceito de evapotranspiração potencial, o mais significativo avanço no conhecimento dos aspectos da umidade climática, foi introduzido em 1944 por Thornthwaite (THORNTHWAITE; WILM, 1944), quando trabalhava com problemas de irrigação, no México (MATHER, 1958).

## 2.2 Método Penman-Monteith

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) notou a necessidade de se padronizar um método apropriado para diferentes climas e localidades surgindo assim à equação de Penman-Monteith FAO (PM FAO 56) derivada da equação de Penman-Monteith. Esta equação estima a ETo a partir de dados de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento (Allen et al., 1998).

Sediyama (1996) citou que o método de Penman-Monteith apresenta vantagens sobre os demais na quantificação da ETo, pois não somente concilia os aspectos aerodinâmico e termodinâmico, mas também inclui a resistência do fluxo de calor sensível e o vapor d'água no ar e a resistência da superfície (planta) a transferência de vapor d'água.

O método de Penman-Monteith (FAO) foi escolhido como o método-padrão para estimar ETo, porque se aproxima da evapotranspiração do padrão grama nos locais avaliados e apresenta superioridade em relação aos outros métodos (CAI et al., 2007; GAVILAN et al., 2007; XING et al., 2008). O método é baseado em processos físicos e, explicitamente, incorpora os parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos.

Devido, principalmente, à diversidade de gramas consideradas na definição da cultura de referência, os autores recomendam uma grama hipotética, com valores fixos de albedo (0,23), altura de 0,12 m e resistência do dossel de 70 s/m. (MEDEIROS, 2002). Em razão disto, Allen et al. (1994a e 1994b) propuseram uma atualização no procedimento de cálculo e na definição de evapotranspiração de referência (ETo).

De acordo com Hargreaves (1994), o vento influencia a advecção, sendo as interações do vento com a umidade relativa, déficit de pressão de vapor, temperatura, entre outros, difíceis de serem estimadas por equações.

A radiação solar é o elemento climático mais relevante na estimativa da taxa de evapotranspiração, segundo Mukammal e Bruce (1960, apud CHANG, 1968). Segundo Medeiros (2002), regiões onde ocorre forte advecção, seja local ou regional, observada frequentemente quando uma área úmida é circundada por área seca, a

importância relativa da radiação líquida ( $R_n$ ) decresce e a advecção, ou transferência de calor sensível das áreas secas circunvizinhas, passa a contribuir significativamente no processo de evapotranspiração, com energia até maior que aquela disponível para área úmida, aumentando desta forma, a importância da velocidade do vento e da umidade no processo evapotranspirativo.

Em um estudo realizado na Carolina do Norte (EUA), Amatya et al. (1992) relatam que o elemento meteorológico mais importante no processo de evapotranspiração foi a radiação.

Segundo Chaves (2015), o método padrão PM-FAO apresenta limitações de sua utilização em algumas regiões, pois muitas estações meteorológicas não dispõem dos instrumentos necessários para a medição desses elementos; em outras situações, podem ocorrer falhas na coleta de dados, indisponibilizando algumas variáveis meteorológicas necessárias.

### **2.3 Fatores que afetam a evapotranspiração**

A evapotranspiração é determinada pelos fatores atmosféricos atuantes.

- Temperatura do ar: a elevação da temperatura provoca o aumento da pressão de saturação de vapor e permite o desprendimento das moléculas do corpo líquido. Segundo Medeiros (2002), o aumento da temperatura está associado à entrada de energia no sistema, que geralmente ocorre em forma de radiação solar
- Radiação solar: um dos principais parâmetros climatológicos que afeta a evaporação da água do solo e a transpiração das plantas é a radiação solar, fator condicionante para a temperatura do ar e do solo (Pereira et al., 2002). A radiação solar é medida por instrumentos como os radiômetros, actinógrafos bimetálicos e piranômetros. Fatores como a latitude, topografia da região, e época do ano estão associados à quantidade de energia que chega à superfície terrestre na forma de radiação solar.
- Umidade relativa: é a relação entre a quantidade de vapor existente no ar e a quantidade que existiria se o ar estivesse saturado à mesma temperatura. Quanto mais baixa a umidade relativa, maior a demanda atmosférica. Em climas úmidos de regiões tropicais, apesar da elevada quantidade de energia,



a alta umidade relativa reduz a evapotranspiração, pois o ar está sempre próximo da saturação. A umidade relativa local, e a temperatura determinam o déficit de pressão de vapor (Medeiros, 2002).

- Vento: o vento, segundo Costa (2012), é o ar em movimento, que começa a partir do deslocamento das massas de ar, seu movimento pode ser tanto horizontal, quando ocorre em superfície e altitude, como vertical, e se deve às diferenças de temperatura e pressão. Quanto maior a diferença de pressão entre regiões, maior tende a ser a velocidade do vento. O vento contribui para a evaporação da água devido à transferência de vapor entre as camadas, sua velocidade também interfere na circulação atmosférica.
- Pressão atmosférica: exercida pelos vários gases contidos na atmosfera, inclusive o vapor d'água, sobre a superfície. A pressão atmosférica sofre interferência da altitude: em áreas de elevada altitude, a pressão diminui, já em áreas de baixa latitude, a pressão aumenta, isso ocorre porque a força que o ar exerce é maior no local mais baixo. A temperatura também influencia na pressão atmosférica, quando há o aumento da temperatura do ar, a pressão diminui e o ar se dilata.

A equação de Penman-Monteith Padrão FAO (PM-FAO) pode ser decomposta em dois termos: o termo radiativo, que é composto pelo saldo de radiação de ondas curtas e longas, que inclui a informação de horas de insolação, temperatura do ar, fluxo de calor no solo; e o termo aerodinâmico, composto pelo déficit de pressão de vapor, temperatura do ar e velocidade do vento. Devido à variação no saldo de radiação no decorrer do ano, o valor do termo radiativo da evapotranspiração ( $ET_{rad}$ ) diminui nos meses de inverno, por haver menor incidência de radiação solar nesse período. Logo, de acordo com a equação de PM-FAO, haverá menor ET no inverno, assumindo que o termo aerodinâmico da evapotranspiração ( $ET_{aero}$ ) não aumenta simultaneamente (CARDOSO; JUSTINO, 2014).

Segundo Silva et al. (2005), a advecção tem grande influência no processo evaporativo: em locais onde ocorre forte advecção, a importância do saldo de radiação diminui relativamente, e a transferência de calor sensível das áreas circunvizinhas pode contribuir ao processo de evapotranspiração com mais energia que aquela esperada na área considerada. Isso eleva a importância relativa da velocidade do vento e da umidade relativa do ar no processo.

Segundo Allen e Pruitt (1986, citados por MEDEIROS, 2002), a irrigação pode ser um fator de interferência na taxa de evapotranspiração. A irrigação resfria o ar, deixa-o mais úmido e reduzindo a turbulência das massas de ar, modificando, portanto, as condições climáticas locais. Os autores relatam que a temperatura média do ar pode sofrer redução de 2 °C a 5 °C, o que influencia a evapotranspiração local.

Em relação às práticas de manejo da água na agricultura, o saldo de radiação solar é um dos principais elementos atuantes na perda de água pelos vegetais, na decomposição da matéria orgânica e nos processos metabólicos e biológicos (OMETTO et al., 1973; CRITCHFIELD, 1974).

Mukammal e Bruce (1960, apud CHANG, 1968) quantificaram a importância relativa da radiação, umidade e vento na ETo e indicaram ser da ordem de 80:6:14, respectivamente. Outros autores, como Berlato e Molion (1981), classificaram os fatores meteorológicos da evapotranspiração em importância decrescente: radiação solar, temperatura, vento e umidade do ar. Com isso, os autores concluíram que os métodos baseados na radiação solar são os mais adequados para estimativa da ETo, pois a maior fonte de energia disponível para o fenômeno provém da radiação.

Doorembos e Pruitt (1977) alertaram sobre o uso de dados climáticos médios em métodos combinados, ou seja, aqueles envolvendo os componentes aerodinâmico e radiativo, como é o caso do método de PM-FAO. Segundo os autores o uso de dados médios pode conduzir a erros resultantes das combinações entre os elementos climáticos.

Turco et al. (2005) observaram que os resultados das estimativas da ETo podem variar bastante quando o saldo de radiação é estimado, o que é feito quando não se dispõe de medições. Os autores verificaram ainda que, caso a estimativa do saldo de radiação não seja calibrada, a evapotranspiração de referência pode ser superestimada em até 27%.

A possibilidade do uso de diferentes métodos de cálculo do déficit de pressão de vapor quando se usa uma equação combinada como a de Penman-Monteith, pode afetar significativamente a magnitude do termo aerodinâmico, segundo Jensen et al. (1990).

Uma equação bastante conveniente para o cálculo da pressão de vapor saturado é a equação de Tétens (TÉTENS, 1930; MURRAY, 1967), que utiliza a temperatura média em graus centígrados. Oliveira et al. (1998), compararam diferentes equações de estimativa de evapotranspiração, usando diferentes métodos de cálculo do déficit de pressão de vapor e observaram que as melhores estimativas de ETo, ocorreram durante o período chuvoso do que o período seco. O método de cálculo de déficit de pressão de vapor, que proporcionou melhores resultados combinados aos modelos de Penman-Monteith, para as condições de estudo, foi calculado com base na média de pressão de vapor.

Seixas (2013) relata que além dos fatores meteorológicos, há outros que afetam a evapotranspiração, relativos à planta e à disponibilidade de água no solo, também exercem influência sobre as taxas de ETo.

Segundo Seixas (2013), a espécie da vegetação está relacionada a fatores que exercem influência direta na evapotranspiração, como a distribuição espacial da folhagem, a resistência interna da planta ao transporte de água, ao albedo da superfície evapotranspirante, etc. A profundidade do sistema radicular indica o potencial de absorção de água pelas raízes. Isso porque a água em maiores profundidades pode estar disponível em épocas de estiagem, e plantas com sistema radicular superficial estariam suscetíveis por não alcançar tais profundidades. O estágio de desenvolvimento da planta relaciona-se ao índice de área foliar (IAF), que é a razão entre a área total da superfície transpirante (folhas) e a área de solo ocupada (ALLEN et al., 1998; PEREIRA et al., 2002; PONZONI & SHIMABUKURO, 2010).

### 3 Objetivos

Este trabalho teve por objetivo estimar a evapotranspiração de referência utilizando dados meteorológicos da estação automática da Fazenda Água Limpa, UnB, e analisar a dinâmica temporal dos termos aerodinâmico e radiativo da equação de Penman-Monteith Padrão FAO. Avaliar os dados médios das variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento e sua relação com a evapotranspiração, quanto à sua influência nos valores dos termos aerodinâmico e radiativo.

## 4 Material e Métodos

Para a realização deste trabalho, utilizou-se uma série de dados diários do período de abril de 2000 a dezembro de 2015, coletados na estação meteorológica automática, pertencente à Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília, localizada em Brasília-DF (Lat. 15°56' S, Long. 47°56' W, Alt. 1080 m). Este banco de dados encontra-se disponível na página [www.fav.unb.br](http://www.fav.unb.br). Os valores diários usados foram: temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>). O clima da região de estudo é caracterizado, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, como Aw, ou, tropical com estação seca no inverno (CARDOSO et al., 2014).

No período de 2000 a 2011, a estação automática era composta pelos seguintes equipamentos: termohigrômetro do modelo HMP145, Vaisala; anemômetro modelo 05103, Young; piranômetro modelo LI200X, Licor; e pluviômetro modelo TB4-L, Campbell Sci. Inc. Os dados eram coletados e armazenados a cada hora por um coletor de dados modelo CR10X (Campbell Sci. Inc.).

A partir de 2012 a coleta de dados foi realizada utilizando uma estação meteorológica automática Maws 110 da marca Hobeco. Os equipamentos que a compõe são: termohigrômetro modelo HMP155, Vaisala; anemômetro modelo WMS 302, Vaisala; piranômetro modelo SP Lite, Kipp-Zonen; pluviômetro modelo SMR 102, Hobeco.

A ETo foi estimada pelo método de Penman-Monteith, parametrizado conforme o Boletim 56 da FAO (equação 1), conforme descrito em Allen et al. (2005). Os cálculos foram realizados em planilha eletrônica no Excel.

$$ET_o = \frac{0,408 s (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

em que:  $ET_o$  = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);  $Rn$  = saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);  $G$  = densidade do fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);  $T$  = temperatura do ar média diária a 2 m de altura (°C);  $U_2$  = velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>);  $e_s$  = pressão de saturação de vapor (kPa);  $e_a$  = pressão atual de vapor (kPa);  $\gamma$  = constante psicrométrica (valor constante utilizado, 0,063 kPa °C<sup>-1</sup>);  $s$  =

declividade da curva de pressão de saturação de vapor no ponto da temperatura média (kPa °C<sup>-1</sup>). No cálculo de ETo, a densidade do fluxo de calor no solo (*G*) foi considerada como 0.

No cálculo da pressão de saturação de vapor (*e<sub>s</sub>*) e da pressão atual de vapor (*e<sub>a</sub>*) foram utilizadas as equações 2 e 3, respectivamente, e para o cálculo da declividade da curva de pressão de vapor (*s*) foi utilizada a equação 4:

$$e_s = 0,611 \exp\left(\frac{7,5 T}{237,3+T}\right) \quad (2)$$

$$e_a = \frac{UR e_s}{100} \quad (3)$$

$$s = \frac{4098 e_s}{(T+237,3)^2} \quad (4)$$

em que: *T* = temperatura média do ar (°C); e *UR* = umidade relativa do ar (%).

Como não há na estação meteorológica uma medida do saldo de radiação (*R<sub>n</sub>*), este foi estimado utilizando a sequência de equações apresentada abaixo, conforme indicado em Pereira et al. (2002):

$$R_b = -\left(0,9 \frac{n}{N} + 0,1\right) (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \sigma T^4 \quad (5)$$

em que: *R<sub>b</sub>* = saldo de radiação de ondas longas; *n* = número de horas de insolação (h); *N* = fotoperíodo (h); *σ* = constante de Stefan-Boltzmann (4,903 × 10<sup>-9</sup> MJ m<sup>-2</sup> K<sup>-4</sup>);

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (6)$$

em que: *R<sub>ns</sub>* = saldo de radiação de ondas curtas (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), *α* = albedo da superfície gramada (*α* = 0,23 – cultura hipotética); *R<sub>s</sub>* = radiação solar incidente (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);

$$R_n = R_{ns} + R_b \quad (7)$$

Para o estudo da decomposição da ETo em seus componentes radiativo e aerodinâmico, foram utilizadas as seguintes equações, a partir da equação original de Penman-Monteith FAO-56:

$$ET_{O_{rad}} = \frac{0,408 s (Rn - G)}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (8)$$

$$ET_{O_{aero}} = \frac{\gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (9)$$

sendo,  $ET_{O_{rad}}$  a parte evapotranspiração associada ao termo radiativo, e  $ET_{O_{aero}}$ , a parte associada ao termo aerodinâmico, ambas em  $\text{mm dia}^{-1}$ . O somatório das duas sempre é igual à ETo.

As estimativas de ETo,  $ET_{rad}$  e  $ET_{aero}$  foram analisadas usando estatística descritiva baseada em medidas de posição: foram calculadas as médias mensais a partir dos cálculos diários, e os percentis 10 e 90, com o objetivo de delimitar a faixa de valores de ETo que ocorre em 80% dos dias de cada mês. Para as estimativas dos termos radiativo e aerodinâmico,  $ET_{O_{rad}}$  e  $ET_{aero}$ , foram calculadas as médias mensais e sua porcentagem em relação à ETo mensal.

É importante acrescentar que houve períodos sem dados da estação meteorológica ou sem dados de insolação solar, o que impossibilitou a estimativa da ETo. Para padronizar, serão apresentadas as médias mensais dos meses em que foi possível estimar ETo para pelo menos 15 dias do mês. Utilizando este critério, não são apresentadas as médias de ETo para os meses de janeiro a março de 2000, julho a dezembro de 2005, dezembro de 2006, maio a julho de 2011, agosto e dezembro de 2012 e abril a junho e agosto de 2015.

## 5 Resultados e Discussão

### 5.1 Dinâmica temporal das variáveis observadas

Para melhor compreensão dos valores de ETo estimada durante o período deste estudo, as variáveis medidas na estação meteorológica – temperatura média, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento foram analisadas. As Figuras 1 e 2 apresentam a variação das médias mensais dos dados observados.

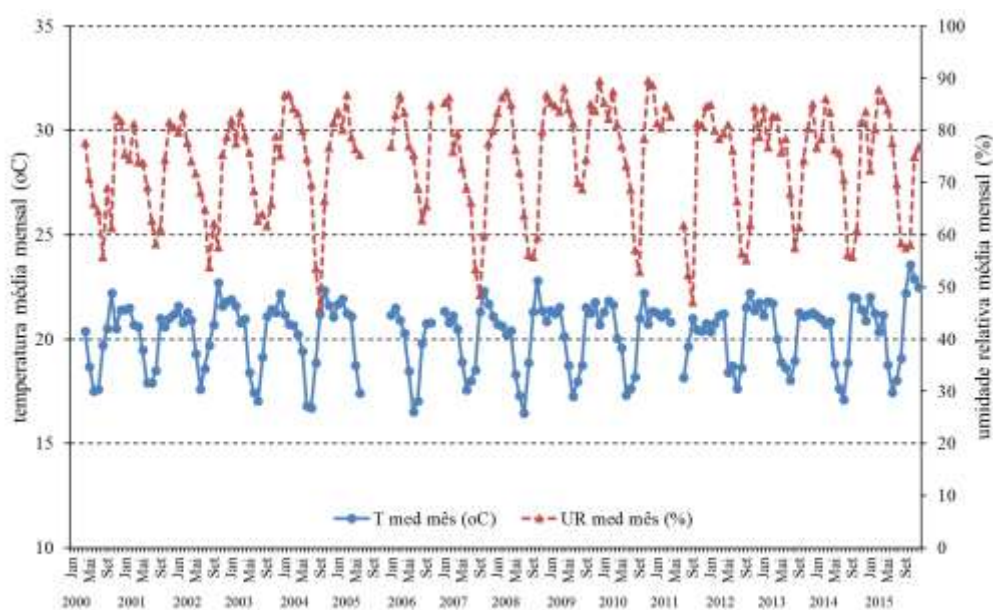


Figura 1. Variação da temperatura média mensal (em °C) e da umidade relativa média mensal (em %) durante o período de estudo. Dados coletados na estação meteorológica da Fazenda Água Limpa, Brasília, DF.

Ao longo dos 16 anos do estudo observou-se que as maiores temperaturas médias ocorreram com maior frequência nos meses de setembro, outubro e novembro. No ano de 2015, o mês de outubro registrou a maior média ao longo desse período, alcançando 23,6 °C. As temperaturas mais baixas ocorreram nos meses de junho e julho, e a menor temperatura média registrada foi de 16,4 °C, em julho de 2008.

Cardoso et al. (2014), em um estudo climático do Estado de Goiás e Distrito Federal, apontaram os meses de junho e julho como aqueles com valores de temperatura média mais baixas. O mês de outubro apresentou maior média, seguido dos meses de dezembro e novembro. Neste trabalho, assim como relatado pelos



autores citados, as maiores e menores médias mensais da temperatura ao longo do tempo, ocorreram nos mesmos meses.

Na média histórica, o mês de março foi o que registrou os maiores valores médios mensais de umidade relativa, e os demais meses que apresentaram altas taxas foram os meses de novembro a fevereiro, o que coincide com o período de chuvas da região. Os meses de agosto e setembro, que apresentaram as menores taxas de UR, correspondem ao período de inverno, caracterizado como uma estação seca. No ano de 2004 o mês de setembro apresentou a menor média mensal da umidade relativa do período, com valor de 46%.

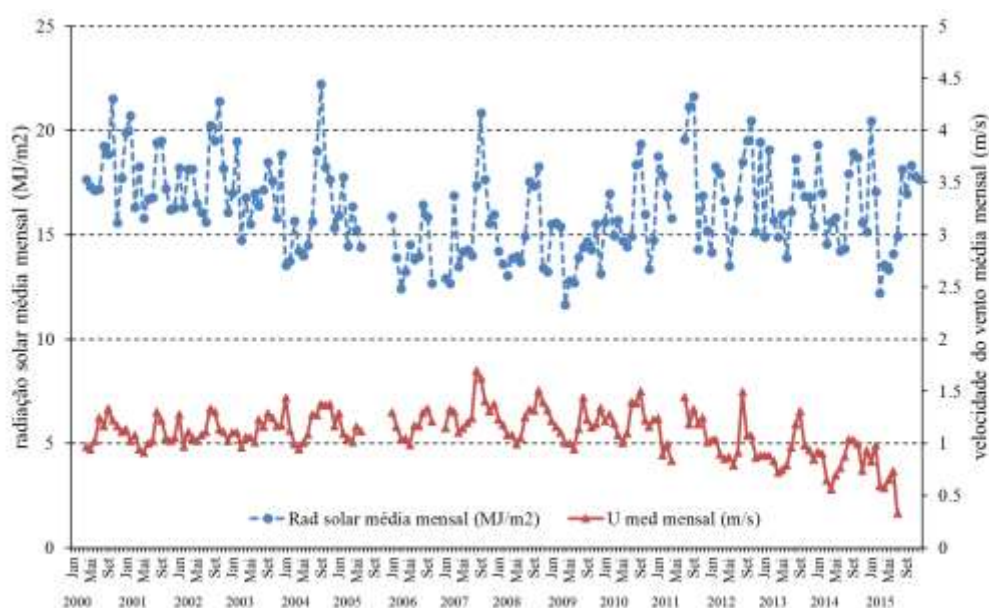


Figura 2. Variação da radiação solar média mensal (em MJ/m<sup>2</sup>) e da velocidade do vento média mensal (em m/s) durante o período de estudo. Dados coletados na estação meteorológica da Fazenda Água Limpa, Brasília, DF.

As maiores taxas de radiação solar foram observadas nos meses de fevereiro, setembro e outubro, enquanto que as menores médias ocorreram nos meses de março, abril, junho. O início da primavera coincidiu com o final do período de seca na região, e com a ocorrência de dias com pequena ocorrência de nuvens.

A variável climática vento apresentou os maiores valores médios nos meses de julho a novembro, com valor máximo de 1,7 m/s ocorrendo em agosto de 2007; os menores valores médios foram registrados nos meses de março a maio.

Este estudo das variáveis climáticas pode confirmar o que já foi relatado por Nimer (1989), sobre o clima na região Centro-Oeste, ser caracterizado por

invernos secos e verões chuvosos. O que pode ser observado quando analisadas a baixa umidade relativa, bem como a temperatura que ocorrem nessa região, no período do inverno e as taxas mais altas ocorrendo no período primavera/verão.

## 5.2 Dinâmica temporal da ETo

Os valores da ETo média mensal e dos percentis calculados são apresentados nas Tabelas 1 a 16. As tabelas apresentam também a proporção da ETo devido ao termo radiativo ( $E_{To_{rad}}$ ) e devido ao termo aerodinâmico ( $E_{To_{aero}}$ ) da equação de Penman-Monteith, que será discutido posteriormente.

O menor valor de ETo estimado durante todo o período ocorreu em 29 de agosto de 2000, quando o valor foi de  $0,31 \text{ mm dia}^{-1}$ . Observando os dados utilizados na estimativa, nesse dia foi observada uma precipitação em torno de 40 mm, baixa radiação solar e alta umidade, que pode explicar a baixa demanda evaporativa.

Em outubro de 2002 foi observado o maior valor de ETo estimada, que alcançou  $6,07 \text{ mm dia}^{-1}$ , num dia caracterizado por alta radiação (total diário igual a  $26,2 \text{ MJ m}^{-2}$ ), baixa umidade relativa (média igual a 44,1 %), e a maior temperatura (média igual a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e velocidade do vento (média igual a  $1,7 \text{ m s}^{-1}$ ).

As maiores taxas de ETo ocorrem nos meses de fevereiro, setembro e outubro, enquanto as menores ocorrem em maio, junho e julho (outono/inverno). Flumignan et al. (2016), em um de seus estudos na região de Dourados, MS, apresenta os meses de novembro, dezembro e janeiro, como os que possuem as maiores taxas de ETo. As menores, assim como neste estudo, são observadas nos meses de maio a julho.

Tabela 1. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2000: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da  $ET_o$  mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	ETo min (mm)	Limite 80% inferior	ETo med (mm)	Limite 80% superior	ETo max (mm)	ETo <sub>rad</sub> (%)	ETo <sub>aero</sub> (%)
Janeiro	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Fevereiro	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Março	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Abril	1,98	2,54	3,18	3,76	3,98	86,22	13,78
Mai	2,33	2,66	2,92	3,13	3,48	81,85	18,15
Junho	2,35	2,52	2,74	2,93	3,06	76,29	23,71
Julho	1,81	2,59	2,95	3,30	3,75	73,01	26,99
Agosto	0,31	3,10	3,68	4,48	4,65	72,76	27,24
Setembro	0,82	2,60	3,75	4,87	5,21	78,20	21,80
Outubro	1,68	2,87	4,48	5,49	5,78	78,04	21,96
Novembro	1,23	1,97	3,09	4,03	5,04	86,64	13,36
Dezembro	1,80	2,55	3,54	4,48	5,70	88,37	11,62
Anual	0,31	2,75	3,37	5,86	5,78	80,15	19,85

Tabela 2. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2001: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	ETo min (mm)	Limite 80% inferior	ETo med (mm)	Limite 80% superior	ETo max (mm)	ETo <sub>rad</sub> (%)	ETo <sub>aero</sub> (%)
Janeiro	2,51	2,84	3,94	5,02	5,12	85,27	14,73
Fevereiro	2,07	3,02	4,01	5,09	5,73	86,51	13,49
Março	2,00	2,26	3,14	4,11	4,78	87,44	12,56
Abril	2,15	2,70	3,24	4,05	4,25	84,58	15,42
Mai	0,84	2,21	2,73	3,11	3,37	82,55	17,45
Junho	2,24	2,51	2,71	2,86	2,92	79,00	21,00
Julho	2,25	2,51	2,84	3,18	3,36	74,79	25,21
Agosto	1,19	3,19	3,53	4,08	4,22	71,27	28,73
Setembro	1,90	3,03	3,92	4,79	5,03	76,53	23,47
Outubro	1,05	1,30	3,44	5,04	5,68	83,71	16,29
Novembro	1,26	2,29	3,27	4,26	4,80	88,15	11,86
Dezembro	1,12	2,16	3,29	4,90	5,26	86,77	13,23
Anual	0,84	2,62	3,34	5,37	5,73	82,21	17,79

Tabela 3. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2002: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	ETo min (mm)	Limite 80% inferior	ETo med (mm)	Limite 80% superior	ETo max (mm)	ETo <sub>rad</sub> (%)	ETo <sub>aero</sub> (%)
Janeiro	1,47	2,34	3,66	4,64	5,54	86,05	13,95
Fevereiro	1,44	1,81	3,15	4,71	5,13	89,62	10,38
Março	2,25	2,46	3,47	4,44	4,77	85,14	14,87
Abril	1,98	2,52	3,31	3,91	4,17	83,15	16,85
Mai	1,60	2,12	2,87	3,43	3,80	80,68	19,33
Junho	1,82	2,22	2,62	2,94	3,13	75,70	24,29
Julho	1,92	2,27	2,78	3,31	3,45	73,36	26,64
Agosto	2,80	3,33	3,87	4,47	4,52	69,75	30,25
Setembro	0,40	2,37	3,96	5,09	5,77	75,34	24,66
Outubro	1,90	3,39	4,46	5,60	6,07	76,98	23,02
Novembro	1,47	2,24	3,71	5,03	5,22	84,61	15,39
Dezembro	1,45	1,74	3,29	5,63	5,89	85,31	14,69
Anual	0,40	2,50	3,43	5,97	6,07	80,47	19,53

Tabela 4. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia<sup>-1</sup>) calculada para 2003: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	0,79	2,08	3,47	4,39	4,75	87,84	12,16
Fevereiro	2,24	2,66	3,79	4,61	4,94	86,57	13,43
Março	1,45	2,06	2,87	3,70	4,61	88,64	11,37
Abril	2,05	2,36	3,09	3,61	3,77	85,53	14,48
Mai	1,23	2,07	2,66	3,20	3,55	81,79	18,20
Junho	2,11	2,51	2,69	2,89	3,11	78,33	21,66
Julho	2,15	2,43	2,75	3,16	3,51	70,13	29,88
Agosto	2,29	2,69	3,14	3,69	3,85	74,68	25,33
Setembro	1,43	2,56	3,77	4,85	5,05	74,01	25,99
Outubro	1,16	2,61	3,72	4,92	5,33	77,36	22,64
Novembro	1,52	2,10	3,26	4,46	5,07	84,56	15,44
Dezembro	0,59	2,14	3,89	5,39	5,73	83,88	16,12
Anual	0,59	2,59	3,26	5,35	5,73	81,11	18,89

Tabela 5. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia<sup>-1</sup>) calculada para 2004: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,17	1,53	2,74	3,84	4,41	86,90	13,10
Fevereiro	1,40	1,83	2,72	3,74	4,24	88,88	11,12
Março	1,46	1,93	3,01	3,92	4,28	89,13	10,87
Abril	1,20	1,74	2,54	3,38	3,49	87,58	12,41
Mai	1,33	1,89	2,38	2,97	3,04	83,58	16,41
Junho	1,38	1,82	2,27	2,60	2,83	77,53	22,47
Julho	1,64	1,86	2,42	2,92	3,05	73,56	26,44
Agosto	2,67	2,98	3,49	3,87	4,09	68,60	31,40
Setembro	3,27	4,23	4,58	5,28	5,43	67,91	32,09
Outubro	1,49	2,50	3,95	5,17	5,79	75,29	24,71
Novembro	1,45	2,67	3,65	5,03	5,26	82,15	17,85
Dezembro	1,43	2,02	3,09	4,21	5,05	85,84	14,16
Anual	1,17	3,12	3,07	2,11	5,79	80,58	19,42

Tabela 6. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em mm dia<sup>-1</sup>) calculada para 2005: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da  $ET_o$  mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,37	2,25	3,22	4,30	4,73	86,63	13,37
Fevereiro	0,89	2,46	3,48	4,45	4,84	87,34	12,66
Março	0,94	2,23	2,76	3,36	4,05	89,61	10,39
Abril	1,51	2,16	2,99	3,79	4,12	85,17	14,82
Mai	1,00	1,91	2,62	3,11	3,19	80,51	19,49
Junho	1,70	1,90	2,34	2,61	3,15	78,72	21,28
Julho	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Agosto	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Setembro	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Outubro	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Novembro	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Dezembro	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Anual	0,89	2,16	2,90	3,97	4,84	84,66	15,34

Tabela 7. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2006: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,55	1,70	3,16	4,56	4,62	80,18	19,82
Fevereiro	1,76	2,00	2,78	3,62	4,08	85,40	14,61
Março	1,09	1,49	2,40	3,47	3,95	87,69	12,30
Abril	1,44	1,61	2,33	2,93	3,27	85,33	14,66
Mai	1,87	2,07	2,35	2,59	2,75	81,80	18,20
Junho	1,38	1,68	2,06	2,33	2,53	75,33	24,67
Julho	0,83	1,69	2,27	2,69	2,81	71,28	28,72
Agosto	2,43	2,61	3,01	3,31	3,39	69,81	30,18
Setembro	1,39	2,34	3,20	4,00	4,12	72,09	27,91
Outubro	0,79	1,51	2,50	3,91	4,29	85,43	14,57
Novembro	0,54	1,67	2,65	3,58	4,82	83,03	16,96
Dezembro	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Anual	0,54	1,74	2,61	3,68	4,82	79,76	20,24

Tabela 8. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2007: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	0,61	1,62	2,59	3,72	4,51	86,58	13,42
Fevereiro	1,33	1,76	2,40	3,27	3,51	85,61	14,39
Março	1,77	2,21	3,10	3,52	3,90	79,94	20,06
Abril	1,30	1,81	2,39	2,99	3,52	81,47	18,53
Mai	0,97	1,89	2,36	2,76	3,10	75,52	24,49
Junho	1,75	2,04	2,25	2,47	2,64	70,06	29,94
Julho	1,88	2,14	2,31	2,57	2,67	66,88	33,12
Agosto	2,63	2,77	3,29	3,90	4,26	57,57	42,43
Setembro	3,39	3,85	4,37	5,01	5,23	63,49	36,51
Outubro	1,64	2,53	3,85	5,13	5,46	70,21	29,79
Novembro	1,28	1,84	3,19	4,50	5,16	80,71	19,29
Dezembro	1,14	1,77	3,16	4,48	4,65	82,59	17,41
Anual	0,61	1,90	2,94	4,31	5,46	75,05	24,95

Tabela 9. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2008: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,15	2,08	2,79	4,06	4,49	85,48	14,52
Fevereiro	0,98	1,48	2,56	3,69	3,75	87,33	12,67
Março	1,30	1,48	2,34	2,87	3,22	88,19	11,81
Abril	1,07	1,76	2,42	2,91	3,35	86,59	13,41
Mai	1,79	1,93	2,21	2,48	2,56	80,00	20,00
Junho	1,62	1,80	2,09	2,28	2,41	74,52	25,48
Julho	1,48	2,00	2,37	2,67	2,93	66,08	33,92
Agosto	2,37	2,70	3,18	3,57	3,83	66,16	33,84
Setembro	1,07	2,04	3,61	4,40	4,97	67,74	32,26
Outubro	2,00	2,81	3,98	4,88	5,45	69,02	30,98
Novembro	0,92	1,69	2,81	4,00	5,38	79,07	20,93
Dezembro	0,87	1,52	2,59	3,41	4,23	86,90	13,10
Anual	0,87	1,84	2,75	4,00	5,45	78,09	21,91

Tabela 10. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2009: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,22	1,60	2,99	4,15	4,58	87,05	12,95
Fevereiro	1,94	2,03	2,94	3,84	3,97	87,79	12,21
Março	1,61	2,07	2,94	3,81	4,29	87,33	12,67
Abril	0,94	1,48	2,04	2,79	3,18	88,51	11,48
Mai	1,19	1,61	2,07	2,46	2,77	85,61	14,39
Junho	1,00	1,59	1,87	2,12	2,16	83,05	16,95
Julho	1,69	1,82	2,21	2,58	2,89	71,32	28,68
Agosto	1,18	1,85	2,60	3,06	4,08	69,14	30,86
Setembro	1,07	1,87	2,95	4,00	4,22	78,16	21,84
Outubro	1,75	2,20	2,83	3,72	4,39	87,13	12,88
Novembro	1,10	2,32	3,08	4,34	4,69	87,25	12,75
Dezembro	0,39	1,82	2,52	3,48	4,30	89,16	10,83
Anual	0,39	1,75	2,59	3,70	4,69	83,46	16,54

Tabela 11. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2010: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,15	1,50	2,96	4,26	4,54	87,10	12,90
Fevereiro	1,60	2,37	3,20	4,35	4,66	85,33	14,67
Março	1,69	2,06	2,79	3,44	3,65	89,09	10,91
Abril	0,97	1,97	2,66	3,22	3,27	84,83	15,17
Mai	1,85	2,10	2,44	2,75	2,97	81,42	18,59
Junho	1,26	1,95	2,20	2,47	2,74	75,61	24,40
Julho	1,84	2,09	2,43	2,78	3,00	67,75	32,25
Agosto	2,69	2,80	3,24	3,80	4,04	66,84	33,16
Setembro	2,42	3,42	4,01	4,43	5,01	66,25	33,75
Outubro	0,84	1,50	3,23	4,32	4,78	81,77	18,23
Novembro	1,13	1,48	2,53	3,30	3,84	90,39	9,61
Dezembro	1,81	1,93	2,80	3,61	4,42	90,38	9,62
Anual	0,84	2,06	2,87	4,07	5,01	80,56	19,44

Tabela 12. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2011: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da  $ET_o$  mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,32	2,39	3,61	4,65	5,21	88,27	11,73
Fevereiro	2,16	2,26	3,62	4,71	5,12	88,78	11,22
Março	0,94	2,53	3,24	3,98	4,30	90,52	9,48
Abril	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Mai	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Junho	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Julho	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Agosto	3,29	3,53	3,86	4,35	4,64	71,43	28,57
Setembro	1,18	4,07	4,43	5,01	5,31	68,71	31,28
Outubro	1,17	1,68	2,89	4,13	4,84	85,32	14,69
Novembro	1,01	1,94	3,26	4,36	4,78	85,95	14,06
Dezembro	1,33	2,14	3,00	3,95	5,13	88,98	11,02
Anual	0,94	2,17	3,49	4,63	5,31	83,50	16,51

Tabela 13. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2012: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da  $ET_o$  mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,34	1,75	2,68	3,59	3,69	89,10	10,90
Fevereiro	1,36	1,94	3,52	4,52	4,88	87,42	12,58
Março	1,74	2,04	3,40	4,72	4,85	88,61	11,39
Abril	1,12	2,21	3,00	3,57	3,99	88,20	11,80
Mai	1,12	1,43	2,26	2,86	3,23	86,67	13,33
Junho	1,41	2,10	2,36	2,61	2,66	83,83	16,17
Julho	2,02	2,13	2,56	2,86	3,35	79,22	20,78
Agosto	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Setembro	2,50	3,06	3,72	4,27	4,50	76,01	23,99
Outubro	0,55	1,06	2,50	4,12	4,63	83,04	16,97
Novembro	1,32	2,18	2,97	4,12	4,74	90,30	9,70
Dezembro	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Anual	0,55	2,12	3,00	4,29	5,24	83,97	16,03

Tabela 14. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2013: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,45	1,75	2,98	4,50	5,10	90,69	9,31
Fevereiro	2,16	2,45	3,72	4,67	4,94	88,49	11,51
Março	1,21	2,04	3,05	4,20	4,42	90,09	9,91
Abril	1,10	2,09	2,62	3,19	3,34	90,00	10,01
Mai	1,16	2,11	2,59	3,08	3,36	86,32	13,69
Junho	1,09	1,38	2,20	2,56	2,75	84,98	15,01
Julho	1,78	2,04	2,52	2,97	3,13	77,66	22,34
Agosto	2,92	2,97	3,25	3,64	3,82	71,84	28,16
Setembro	1,96	2,40	3,59	4,49	4,66	72,92	27,09
Outubro	1,36	1,74	3,28	4,51	4,87	84,28	15,72
Novembro	1,16	1,98	3,26	4,35	4,83	88,17	11,83
Dezembro	2,10	2,34	3,05	4,11	4,78	90,63	9,38
Anual	1,09	2,05	3,01	4,22	5,10	84,67	15,33

Tabela 15. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2014: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da  $ET_o$  mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	1,78	2,37	3,51	4,51	5,02	87,75	12,28
Fevereiro	1,76	1,87	3,06	4,24	4,48	87,90	12,10
Março	1,20	1,84	2,64	3,40	4,03	92,47	7,53
Abril	1,13	2,07	2,77	3,29	3,58	92,61	7,39
Mai	1,67	2,03	2,50	2,97	3,15	87,05	12,95
Junho	0,60	0,79	1,29	1,97	2,83	72,86	27,13
Julho	0,78	1,80	2,22	2,60	2,66	77,75	22,25
Agosto	2,62	2,77	3,18	3,67	4,07	72,57	27,43
Setembro	2,02	2,97	3,75	4,37	4,59	74,51	25,49
Outubro	1,74	2,61	3,72	4,56	4,79	78,27	21,72
Novembro	1,00	1,78	3,02	4,06	4,77	89,78	10,22
Dezembro	1,18	1,58	2,70	4,05	5,13	89,91	10,09
Anual	0,60	1,89	2,86	4,13	5,13	83,62	16,38

Tabela 16. Evapotranspiração de referência média mensal ( $ET_o$ , em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) calculada para 2015: estatística descritiva mensal e anual, e nível de contribuição dos termos radiativo ( $ET_{o\text{rad}}$ ) e aerodinâmico ( $ET_{o\text{aero}}$ ). (s/d: faltaram dados para o cálculo da  $ET_o$  mensal). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

	$ET_o$ min (mm)	Limite 80% inferior	$ET_o$ med (mm)	Limite 80% superior	$ET_o$ max (mm)	$ET_{o\text{rad}}$ (%)	$ET_{o\text{aero}}$ (%)
Janeiro	2,06	2,69	3,97	4,72	5,03	87,10	12,90
Fevereiro	2,28	2,64	3,87	4,83	5,28	86,05	13,95
Março	0,70	1,67	3,19	4,35	4,84	88,52	11,48
Abril	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Mai	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Junho	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Julho	1,69	2,32	2,68	3,14	3,37	71,87	28,13
Agosto	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Setembro	2,15	2,50	3,58	4,67	4,94	71,41	28,60
Outubro	0,38	2,13	3,26	4,44	4,65	78,75	21,24
Novembro	0,41	1,11	2,66	4,03	4,31	86,10	13,90
Dezembro	1,67	2,14	3,39	4,71	4,96	86,05	13,95
Anual	0,38	1,63	3,33	4,59	5,28	81,98	18,02

Os valores anuais do período de estudos estão apresentados na Tabela 17. A  $ET_o$  média anual de todo o período estudado foi estimada em  $3,05 \text{ mm dia}^{-1}$ , e em 80% dos dias as taxas ficam entre  $2,18$  e  $4,39 \text{ mm dia}^{-1}$ . Em um estudo realizado na região de Dourados, MS, Flumignan et al. (2016) obtiveram média anual de  $ET_o$  de  $4,2 \text{ mm dia}^{-1}$ , e para 80% dos dias as taxas ficaram entre  $2,0$  e  $6,3 \text{ mm dia}^{-1}$ .

Conforme pode ser observado na tabela 17, na média anual, o termo radiativo é responsável por 81,43% da evapotranspiração de referência, ou,  $2,48 \text{ mm dia}^{-1}$ , enquanto o termo aerodinâmico é responsável por 18,57%, ou,  $0,57 \text{ mm dia}^{-1}$ .



Tabela 17. Evapotranspiração de referência anual (ET<sub>o</sub>, em mm) calculada para o período de 2000 a 2015: estatística descritiva anual, e nível de contribuição dos termos radiativo (ET<sub>o,rad</sub>) e aerodinâmico (ET<sub>o,aero</sub>). Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, 2017.

Ano	ET <sub>o</sub> min (mm dia <sup>-1</sup> )	Limite 80% inferior	ET <sub>o</sub> med (mm dia <sup>-1</sup> )	Limite 80% superior	ET <sub>o</sub> max (mm dia <sup>-1</sup> )	ET <sub>o,rad</sub> (%)	ET <sub>o,aero</sub> (%)
2000	0,31	2,75	3,37	5,86	5,78	80,15	19,85
2001	0,84	2,62	3,34	5,37	5,73	82,21	17,79
2002	0,40	2,50	3,43	5,97	6,07	80,47	19,53
2003	0,59	2,59	3,26	5,35	5,73	81,11	18,89
2004	1,17	3,12	3,07	2,11	5,79	80,58	19,42
2005	0,89	2,16	2,90	3,97	4,84	84,66	15,34
2006	0,54	1,74	2,61	3,68	4,82	79,76	20,24
2007	0,61	1,90	2,94	4,31	5,46	75,05	24,95
2008	0,87	1,84	2,75	4,00	5,45	78,09	21,91
2009	0,39	1,75	2,59	3,70	4,69	83,46	16,54
2010	0,84	2,06	2,87	4,07	5,01	80,56	19,44
2011	0,94	2,17	3,49	4,63	5,31	83,50	16,51
2012	0,55	2,12	3,00	4,29	5,24	83,97	16,03
2013	1,09	2,05	3,01	4,22	5,10	84,67	15,33
2014	0,60	1,89	2,86	4,13	5,13	83,62	16,38
2015	0,38	1,63	3,32	4,59	5,28	80,97	19,03
Média	0,69	2,18	3,05	4,39	5,34	81,43	18,57

### 5.3 Contribuição dos termos radiativo e aerodinâmico

A porcentagem de contribuição dos termos radiativo (ET<sub>o,rad</sub>) e aerodinâmico (ET<sub>o,aero</sub>) na estimativa da ET<sub>o</sub> está apresentada na Figura 3.

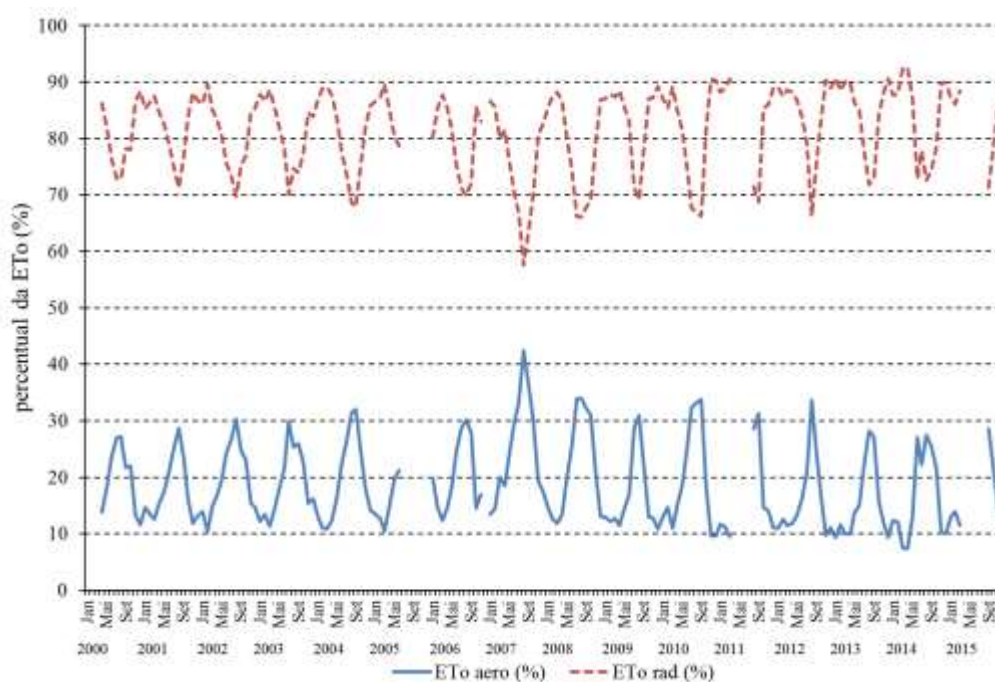


Figura 3. Contribuição dos termos radiativo (ET<sub>o,rad</sub>) e aerodinâmico (ET<sub>o,aero</sub>) na estimativa da evapotranspiração de referência utilizando o método de Penman-Monteith. Fazenda Água Limpa, Brasília, DF.

Como pode ser observado na Figura 3, o percentual de  $ET_{\text{rad}}$  do termo radiativo diminuiu nos meses de junho, julho, agosto e setembro, enquanto o termo aerodinâmico possui maiores valores nesses meses. Isso possivelmente ocorre devido à menor radiação incidente durante período do inverno, combinada com a redução da umidade relativa, aumento da temperatura e da velocidade do vento. No mês de setembro começa a haver um aumento da radiação incidente, mas como as chuvas ainda não começaram na região, a umidade relativa continua baixa, resultando, como pode ser visto neste estudo, em maiores taxas de  $ET_o$  em relação aos outros meses do ano.

A variação da contribuição do termo radiativo na estimativa da  $ET_o$  também foi observada por Cardoso e Justino (2014), que afirmaram que o valor de  $ET_{\text{rad}}$  diminuiu nos meses do inverno devido à menor incidência de radiação solar nesse período do ano. Ainda segundo os autores, o termo radiativo depende diretamente do saldo de radiação na superfície.

Em seu estudo na região de Piracicaba, SP, Irigoyen et al. (2009) relataram a contribuição predominante do termo radiativo à evapotranspiração de referência, atingindo um valor médio anual de 0,84 na proporção  $ET_{\text{Opm rad}}/ET_{\text{Opm}}$ . No presente estudo, o resultado obtido para essa proporção é bastante semelhante ao encontrado pelos autores, sendo a proporção do termo radiativo média de 0,81. Irigoyen et al. (2009) observaram também que de outubro a junho essa proporção esteve acima de 0,84, e que, embora tenha diminuído no inverno, não foi inferior a 0,75. Para o período de outubro a junho na região de Brasília, a proporção esteve acima de 0,69, e assim como no trabalho de Irigoyen et al. (2009), no período do inverno a proporção diminuiu, registrando o menor valor de 0,57.

Neste trabalho, assim como descrito em Flumignan et al. (2016), em todos os meses o termo radiativo contribuiu mais para a  $ET_o$  do que o termo aerodinâmico. Isso confirma que a radiação solar é o principal fator que determina a demanda evaporativa da atmosfera na região. Segundo os autores, os demais contribuintes e que constituem o termo aerodinâmico (velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa) também contribuem para a evapotranspiração, porém em menor proporção.

Na Figura 3 observa-se que o mês de agosto de 2007 foi o mês que apresentou maior contribuição de  $ET_{\text{aero}}$  de todo o período do estudo. Isso pode ser atribuído ao fato de nesse mês ter ocorrido ventos com maiores velocidades quando

comparados aos outros meses e outros anos, alcançando valores médios diários de até  $2,7 \text{ m s}^{-1}$ , combinados com as altas temperaturas e baixas umidades relativas típicas do período.

Os meses com menor contribuição de  $ET_{\text{aero}}$  foram março e abril de 2014, que apresentaram ventos mais fracos, precipitação em parte dos dias do mês, que também contribuiu para o aumento da umidade relativa, que foi mais alta nesse período.

## 6 Conclusões

As taxas de  $ET_o$  aumentaram nos meses de fevereiro, setembro e outubro, assim como a radiação solar. A  $ET_o$  diminuiu no período de inverno, em alguns anos isso ocorreu a partir de maio, voltando a aumentar em agosto.

Ao longo do ano o termo radiativo teve maior contribuição na estimativa de  $ET_o$  do que o termo aerodinâmico. Durante o período de inverno a contribuição de  $ET_{rad}$  diminuiu devido à menor incidência de radiação, permitindo que a contribuição relativa de  $ET_{aero}$  aumente.

## 7 Referências Bibliográficas

- ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A. An update for the definitions of reference evapotranspiration. **ICID BULLETIN**, v.43, n.2, p.1-34, 1994a.
- ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A. An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID BULLETIN**, v.43, n.2, p.35-91, 1994b.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.G.; WALTER, I.A.; ELLIOTT, R.L.; HOWELL, T.A.; ITENFISU, D.; JENSEN, M.E.; SNYDER, R.L. (Ed.). **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation**. Reston: ASCE, 2005. 216 p.
- AMATYA, D.M.; SKAGGS, R.W.; GREGORY, J.D. **Comparison of methods for estimating potential evapotranspiration**. St. Joseph: ASAE, 1992. 27p. (ASAE. Paper, 92-2630).
- BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Boletim Técnico. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Agronômicas – Departamento de Pesquisa. Secretaria da Agricultura, 1981. 95p.
- CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L.S., Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman–Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.145, p.22–35, 2007.
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 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**, São Paulo, v.29, n.1, p.85-95, Mar. 2014.
- CARDOSO, M.R.D.; MARCUZZO, F.F.N.; BARROS, J.R. Climatic Classification of Köppen-Geiger For the State of Goiás and Federal District. **Acta Geográfica**, v.8, n.16, p.40–55, 2014. Disponível em: <<http://revista.ufrb.br/index.php/actageo/article/view/1384/1480>>.

- CARVALHO, L.G. de; RIOS, G.F.A.; MIRANDA, W.L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.456-465, 2011.
- CHANG. J.H. **Climate and agriculture: an ecological survey**. Chicago: Aldine Publishing Company, 1968. Cap. 13: Evapotranspiration. p.129-143.
- CHAVES, L. H. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Jaboticabal-SP**. 2015. 58f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista.
- COSTA, G B; LYRA, R. F. D. F. Análise dos padrões de vento no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p.31-38, 2012.
- CRITCHFIELD, H.J. **General Climatology**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1974. 447p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FLUMIGNAN, D.L.; FIGUEIREDO, L.H.S.; SILVA, J.A. da; FIETZ, C.R.; COMUNELLO, E. **Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região de Dourados, Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2016. 6 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 215).
- GAVILAN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R.G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman–Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 89 n. 3, p. 275–286, 2007.
- HARGREAVES, G. H. Defining and using reference evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.120, p.1132-1139, 1994.
- HENRIQUE, N.A.F. **Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande - PB**. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2006. 107 p.
- IRIGOYEN, A.I.; ANGELOCCI. L.R.; SIMON. J. **Evapotranspiração de referência em Piracicaba-SP: Ajuste e validação de modelos baseados em análise de regressão**. 5 p. 2009.
- JENSEN, M.W.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. et al. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 329 p. (ASCE. Manual and Reports on Engineering Practices, 70).

- MATHER, J.R. Preface. Centerton, N.J., 1958, p.247-248. **Publications in Climatology**, v. XI, n.3.
- MEDEIROS, A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraíba, PB.** 2002. 103f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MUKAMMAL, E.I.; BRUCE, J.P. Evaporation measurements by pan and atmometer. S.I., **Association of Scientific Hydrology**, p. 408-420, 1960.
- MURRAY, F. W. On the computation of saturation vapor pressure. **Journal Applied Meteorology**. v.6, p.203-204. 1967.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p. 2ed.
- OLIVEIRA, M. A. A. de; CARVALHO, D. F. de. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 132–135, 1998.
- OMETTO, J.C.; PERRIES, A.; ITIES, B. **Sur l’estimation de la radiation solaire globale et radiation nette.** Versailles: Centre National de Recherche Agronomique, 1973. 11p.
- ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. New York, **Irrigation Science**, v.28, n.1, p.1-3, 2009.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: ESALQ, 1997. 183p.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2010.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. v.4, n.1, p.i-xii, 1996.
- SEIXAS, G B. **Avaliação de vegetação monodominante do Pantanal e vegetação de Cerrado, utilizando parâmetros biofísicos estimados por imagens de**

- satélites**. 2013. 102f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.
- SENTELHAS, P.C., GILLESPIE, T.J., SANTOS, E.A. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, n.5, p.635-644, 2010.
- SILVA, L.D.B. da; FOLEGATTI, M.V.; VILLA NOVA, N.A. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.705-712, Dec. 2005.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, 243-252, 2005.
- TÉTENS, O. Uber einige meteorologicsche begriffe. **Z. Geophys.** n.6, p.297-309. 1930.
- THORNTHWAITE, C.W.; WILM, H.G. Report of the committee on evapotranspiration and transpiration 1943-1944. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v.25, part 5, p.686-693, 1944.
- TURCO, J.E.P.; FARIA, M.T.; FERNANDES, E.J. Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.3, p.215-228, 2005.
- XING, Z.; CHOW, L.; MENG, F.R.; REES, H.W.; STEVENS, L.; MONTEITH, J., Validating evapotranspiration equations using Bowen Ratio in New Brunswick. Maritime Canada. **Sensors**, Lausanne, n. 8. p. 412–428, 2008