

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
 CAMPUS DE JI-PARANÁ
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
 CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

UNIR

DEA
 Departamento de Engenharia Ambiental

Climatologia

Prof.^a Renata Gonçalves Aguiar

1

Artigo Chuva - Apresentação

Fonte: iStockphoto.com

2

2.5 – Evapotranspiração

Fonte: prof2000

3

Definição de Evaporação

A evaporação é um processo físico de mudança de fase, passando do estado líquido para o estado gasoso.

Energia → $LE = 2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ (a 20 °C)

Oceanos, Lagos, Rios, Solo, Vegetação úmida

Fonte: Agrienc.pt

4

Definição de Transpiração

A transpiração é um processo biofísico pelo qual a água que passou pela planta, fazendo parte de seu metabolismo, é transferida para a atmosfera preferencialmente pelos estômatos.

Fonte: danielnogueira.com

5

Definição de Evapotranspiração (ET)

Evaporação de superfícies de água livre (rios, lagos, represas, oceano, etc).

Evaporação dos solos e da vegetação úmida (que foi interceptada durante uma chuva).

Transpiração da vegetação.

1ª Evaporação, 2ª Precipitação, 3ª Água que volta aos oceanos

Fonte: meioambiente.culturamix

6

Reciclagem da Precipitação pela ET

A evapotranspiração anual é de aproximadamente 55% da precipitação anual, entretanto:

a maior contribuição para a precipitação média anual vem das chuvas da estação chuvosa.

7

Importância do Estudo da ET

O balanço entre a água que entra na cultura pela chuva e a que sai por ET, irá resultar na variação do armazenamento de água no solo.

Chuva ET

Condicionará o quê?

O crescimento, o desenvolvimento e o rendimento da cultura.

8

Alguns Elementos que Interferem no Processo de Evaporação e Transpiração

Radiação Solar

A radiação solar é fonte energética necessária ao processo evaporativo.

9

Alguns Elementos que Interferem no Processo de Evaporação e Transpiração

Temperatura e Umidade do Ar

Aumento da temperatura do ar → Diminui a umidade relativa do ar

Com maior temperatura e menor umidade relativa o que acontece com a evapotranspiração?

10

Evapotranspiração

Com o intuito de padronizar a ET de comunidades vegetais, foram fixadas as condições nas quais sua medida deve ser feita.

11

Evapotranspiração de Referência (ET₀)

É a quantidade de água que seria utilizada por uma extensa superfície vegetada por uma cultura de baixo porte (grama), verde, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme (8 a 15 cm) e sem restrição hídrica.

12

Evapotranspiração de Referência (ET₀)

Condições realmente potenciais ocorrem um a dois dias após uma chuva generalizada, onde toda a região está umedecida.

Essa condição não ocorre em regiões áridas e semi-áridas, e também nos meses de estiagem em regiões com chuvas sazonais.

13

Evapotranspiração Máxima de uma Cultura (ET_c)

Foi desenvolvida após serem observadas as diferenças da interface cultura-atmosfera entre a grama e outras culturas.

14


13

14

ET Máxima de uma Cultura (ET_c)

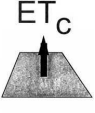
É a quantidade de água utilizada por uma cultura, em qualquer fase de seu desenvolvimento.

Desde o plantio até a colheita, quando **não houver restrição hídrica**.



Fonte: ag.fatec.sp


Coeficiente de Cultura (Kc)



ET_c

=

ET₀ x



ET₀

Coeficiente de Cultura (Kc) = ET_c / ET₀


Kc é o coeficiente de cultura. Varia com as fases fenológicas, entre espécies e cultivares.

15

15

Coeficiente de Cultura (Kc)

$$Kc = \frac{ET_c}{ET_0}$$



O Kc depende do tipo de cultivo e da idade do mesmo.

Milho: logo após a sua emergência, tem um Kc igual a 0,6. na fase de pendramento e formação de grãos o Kc atinge até 1,2. cae para 0,8 na fase final de maturação.

16

16

Coeficiente de Cultura (Kc)

Gramado Kc = 1

Se tivermos Kc > 1 o que significa?

Que a cultura é mais eficiente na utilização da energia do ambiente do que um gramado.

17

17

Coeficiente de cultura

Tabela 1 - Valores do coeficiente de cultura (Kc) para a gramínea *Brachiaria brizantha* no período de maio de 2008 a abril de 2009, Rondônia.

Meses	Kc
Maio	0,91
Junho	0,79
Julho	0,44
Agosto	0,14
Setembro	0,25
Outubro	0,63
Novembro	0,57
Dezembro	0,75*
Janeiro	0,93
Fevereiro	1,05
Março	1,01
Abril	1,06

Nota - * valor estimado através da média entre o mês anterior e posterior.

Fonte: Santos (2010).

18

18

Coeficiente de Cultura (Kc)

No caso de culturas perenes ou árvores, os valores de Kc também irão variar de acordo com o IAF e o tipo de cultura. Um exemplo é a seringueira, que perde as folhas no outono.

Kc
↓
Área foliar

Mês	Kc
jan	1,15
fev	1,15
mar	1,20
abr	1,20
mai	1,15
jun	1,05
jul	0,90
ago	1,05
set	1,15
out	1,15
nov	1,15
dez	1,15

19

Evapotranspiração Real (ETr)

Quando a ET da cultura não ocorre sob as condições ideais descritas, ela é denominada ET real da cultura.

ETr é a evapotranspiração nas mesmas condições de contorno de ETc, porém, **com ou sem restrição hídrica**.

$ETr \leq ETc$

$ETr = ET_0 * Kc * Ks$

Ks é o coeficiente de umidade no solo.

20

Fatores Determinantes da ET

Fatores do Clima: saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. → ET_0

Fatores da Planta (Kc) → ET_c

Fatores da Cultura: altura, área foliar, tipo de cultura, albedo, profundidade do sistema radicular.

Fatores de Manejo e do Solo: espaçamento/densidade de plantio, capacidade de armazenamento de água no solo, etc... → E_{Tr}

21

Métodos Empíricos de Estimativa da ET

Foram derivados por meio de regressões estatísticas na comparação do valor de ET_0 com as variáveis estudadas e nas observações individuais de cada autor.

- Tanque Classe A
- Método de Thornthwaite → Usa apenas temperatura do ar
- Método de Camargo
- Método de Priestley-Taylor
- Método da Radiação Solar
- Método de Hargreaves-Samani
- Método de Penman-Monteith → Precisão dos resultados

22

Método Penman-Monteith (Padrão FAO – 1998)

O método de PENMAN-MONTEITH tem uma relativa precisão, aproximação e consistência em sua performance nos dois tipos de clima (árido e úmido).

Método indicado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), método padrão.

A ET_0 pode ser calculada em dados diários, semanais, decendiais e mensais.

23

Método Penman-Monteith (Padrão FAO – 1998)

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

ET_0 - evapotranspiração de referência ($mm\ d^{-1}$)
 Δ - declividade da curva de pressão de vapor ($kPa\ ^\circ C^{-1}$)
 R_n - saldo de radiação ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)
 G - fluxo de calor no solo ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)
 γ - constante psicrométrica ($kPa\ ^\circ C^{-1}$)
 U_2 - velocidade do vento medido a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$)
 e_s - pressão de saturação de vapor (kPa)
 e_a - pressão atual de vapor (kPa)
 T - temperatura média do ar ($^\circ C$)

24

Método Direto de Estimativa da ET

Método de covariância de vórtices turbulentos (*eddy correlation*).

Uso de lisímetros.

Custo elevado

25

Método Eddy Correlation

$$LE = \rho \lambda \overline{w'q'}$$

LE - fluxo de calor latente (W m⁻²)
 ρ - densidade específica do ar
 λ - calor latente de vaporização (J kg⁻¹)
 w' - componente turbulenta da velocidade vertical do vento
 q' - componente turbulenta da umidade específica do ar (kg kg⁻¹)

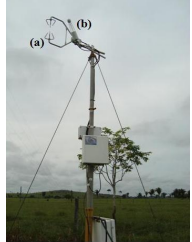


Figura 1 - Sistema Eddy Correlation. (a) Anemômetro sônico tridimensional e (b) analisador de gás por infravermelho. Fonte: Santos, 2010.

26

25

26

Método Eddy Correlation

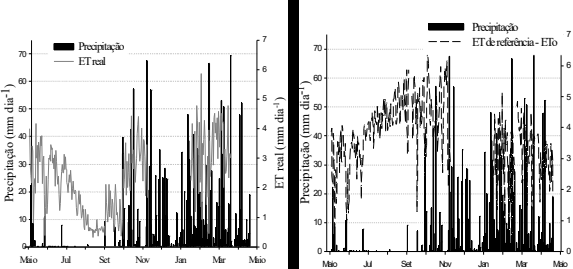


Figura 2 - Precipitação e evapotranspiração real medida pelo método de vórtices turbulentos na FNS, de maio de 2008 a abril de 2009. Fonte: Santos (2010).

Figura 3 - Precipitação e evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith para a FNS, de maio de 2008 a abril de 2009. Fonte: Santos (2010).

27

27

Método Eddy Correlation

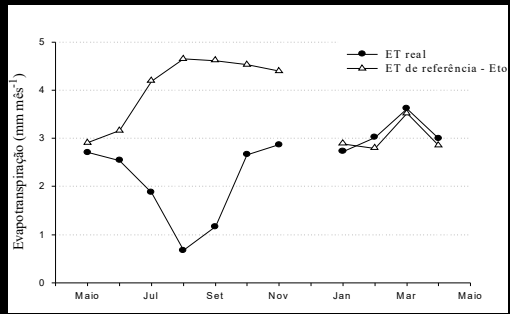


Figura 4 - Ciclo médio mensal da evapotranspiração real e de referência na FNS, de maio de 2008 a abril de 2009. Fonte: Santos (2010).

28

28

Critério para Escolha de um Método de Estimativa da ET

A escolha dependerá de vários fatores:

a) da disponibilidade de dados meteorológicos;

29

29

Critério para Escolha de um Método de Estimativa da ET

A escolha dependerá de vários fatores:

b) da escala de tempo requerida.

Thornthwaite e de Camargo, estimam bem a ET na escala mensal.

Métodos que envolvem o saldo de radiação apresentam boas estimativas também na escala diária.

30

30

Critério para Escolha de um Método de Estimativa da ET

A escolha dependerá de vários fatores:

c) é necessário conhecer as condições climáticas, pois não são de aplicação universal.

31

Critério para Escolha de um Método de Estimativa da ET

Métodos de Thornthwaite e de Camargo

➔

Clima úmido

Hargreaves-Samani

➔

Clima seco

Método mais utilizado: Penman-Monteith

32

TCC sobre ET

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA POR MÉTODOS EMPÍRICOS EM DOIS DIFERENTES ECOSISTEMAS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA

Euler Noiman Gonçalves

33

TCC sobre ET

Objetivo

Avaliar quatro métodos empíricos que requerem menor número de variáveis para a estimativa da evapotranspiração de referência, sendo esses, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Jensen-Haise, e comparar seus desempenhos com o método padrão de Penman-Monteith, verificando assim, qual o método que melhor adapta-se às condições climáticas de uma área de pastagem e outra de floresta no sudoeste da Amazônia.

34

TCC sobre ET

Quadro 1 - Variáveis utilizadas para calcular a evapotranspiração nos métodos empíricos.

Método Empírico	Variáveis utilizadas
Penman Monteith	Radiação solar líquida Fluxo de calor no solo Constante psicrométrica Velocidade do vento Pressão de saturação de vapor e Pressão atual Temperatura do ar Declividade da curva de pressão
Camargo	Radiação solar extraterrestre Temperatura do ar
Hargreaves-Samani	Radiação solar extraterrestre Temperatura do ar
Priestley-Taylor	Temperatura do ar Fluxo de calor no solo Declividade da curva de pressão de vapor Pressão local
Jensen-Haise	Radiação solar líquida Temperatura do ar

35

Resultados

PM - Penman Monteith
C - Camargo
HS - Hargreaves-Samani
PT - Priestley-Taylor
JH - Jensen-Haise

Figura 5 – Box-plot da Rebio Jaru.
Fonte: Gonçalves (2015).

36

Resultados

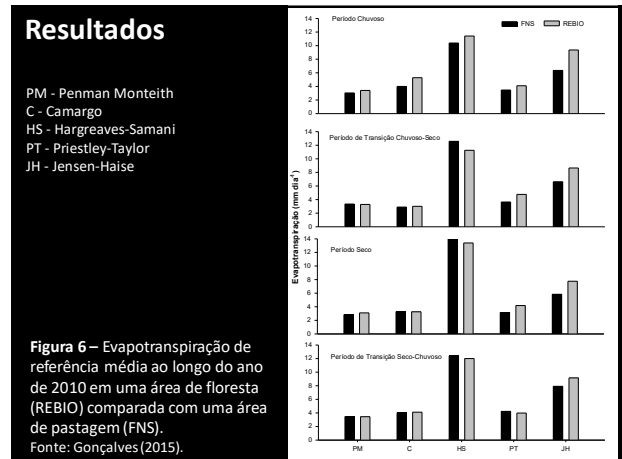
Tabela 2 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período seco (julho-setembro) para a Rebio Jaru.

Métodos	r	d	c	Desempenho	RMSE	MAE
Camargo	0,43	0,99	0,43	Mau	0,78	0,63
Hargreaves-Samani	0,56	0,58	0,33	Péssimo	10,78	10,64
Priestley-Taylor	0,89	0,94	0,85	Muito Bom	1,38	1,35
Jensen-Haise	0,94	0,78	0,74	Bom	5,2	5,1

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio.

Fonte: Gonçalves (2015).

37



38

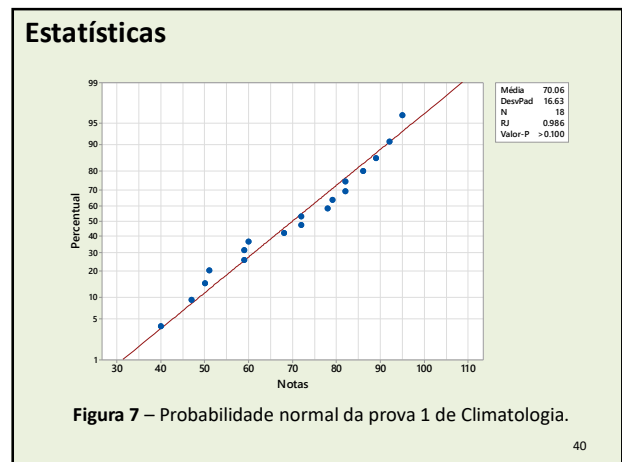
TCC sobre ET

Conclusão

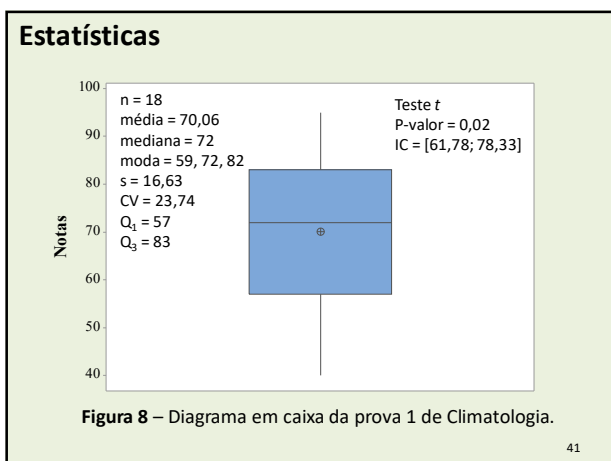
De acordo com a disponibilidade de dados na região

- 1º FAO56 Penman-Monteith
- 2º Priestley-Taylor
- 3º Camargo

39



40



41



42

Referências

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2003.

DORE, M. H. I. Climate change and changes in global precipitations patterns: what do we know? **Environment International**, v. 31, p. 1167-1181, 2005.

FISCHER, G. R. **Notas de aula de Climatologia**, 2011.

43

43

Referências

GONÇALVES, E. N. **Evapotranspiração de Referência Estimada por Métodos Empíricos em Dois Diferentes Ecossistemas no Sudoeste da Amazônia**. Ji-Paraná: UNIR, 2014. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia - *Campus* de Ji-Paraná, 2014.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2007.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

44

44

Referências

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

SANTOS, D. J. **Determinação e Validação do Coeficiente de Cultura e Estimativa da Evapotranspiração para gramínea *Brachiaria brizantha* no Estado de Rondônia**. Ji-Paraná, UNIR, 2010. Monografia (Licenciatura Plena em Matemática) Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, 2010.

45

45

Referências

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

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

46

46