

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
CAMPUS DE JI-PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL


UNIR

DEA  
Departamento de Engenharia Ambiental

# Climatologia

Profa. Renata Gonçalves Aguiar

## 2.5 – Evapotranspiração




Fonte: photo12000

2

### 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)



Fonte: agronet.pt

### 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: eciocamp/madimao

4

### 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.




Fonte: meioambiente.culturamix

### Reciclagem da Precipitação pela ET

A evapotranspiração anual é de aproximadamente 55% da precipitação anual

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



6

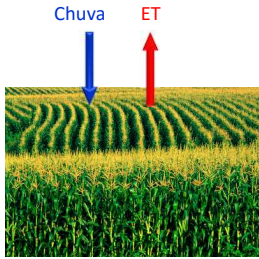
### Reciclagem da Precipitação pela ET

Na estação seca (ou menos chuvosa), em geral, a evapotranspiração é superior à precipitação, o que implica em exportação de vapor para outras regiões.

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.



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

O aumento da temperatura torna maior a quantidade de vapor d'água que pode estar presente no mesmo volume de ar.

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

Com maior temperatura e menor umidade relativa, maior é o poder de 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 (ET<sub>0</sub>)

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 (ET<sub>0</sub>)

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<sub>c</sub>)

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

14


### ET Máxima de uma Cultura (ET<sub>c</sub>)

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: agrinet.pt

Coeficiente de Cultura (K<sub>c</sub>)



ET<sub>0</sub> x K<sub>c</sub> = ET<sub>c</sub>


Cultura sem restrição hídrica

K<sub>c</sub> é o coeficiente de cultura.

Varia com as fases fenológicas, entre espécies e cultivares.

15

### Coeficiente de Cultura (K<sub>c</sub>)

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


O K<sub>c</sub> depende do tipo de cultivo e da idade do mesmo.

Milho: logo após a sua emergência, tem um K<sub>c</sub> igual a 0,6.

na fase de pendoamento e formação de grãos o K<sub>c</sub> atinge até 1,2.

cae para 0,8 na fase final de maturação.

16

### Coeficiente de Cultura (K<sub>c</sub>)

Gramado K<sub>c</sub> = 1

Se tivermos K<sub>c</sub> > 1 o que significa?

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

17

### Coeficiente de cultura

Tabela 2 - Valores do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) para a gramínea *Brachiaria brizantha* no período de maio de 2008 a abril de 2009, Rondônia.

Meses	K <sub>c</sub>
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

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

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	1,0
fev	1,0
mar	1,0
abr	1,0
mai	1,0
jun	0,8
jul	1,0
ago	1,15
set	1,15
out	1,0
nov	1,0
dez	1,0

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**.

$ETr \leq ETC$

$ETr = ETo * Kc * Ks$

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. → ETo

Fatores da Planta (Kc) → ETc

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... → ETr

21

### Métodos Empíricos de Estimativa da ET

Foram derivados por meio de regressões estatísticas na comparação do valor de ETo 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 de Hargreaves-Samani

Método desenvolvido em 1985 para as condições semi-áridas da Califórnia, a partir de ET obtida por método direto cultivado com grama.

$$ETo = 0,0023R_o (Tmáx - Tmín)^{0,5} (Tméd + 17,8)$$

ETo - evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>)  
 Ro - irradiância solar extraterrestre (mm d<sup>-1</sup>)  
 Tmáx - temperatura máxima (°C)  
 Tmín - temperatura mínima (°C)  
 Tméd - temperatura média (°C)

23

### 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 ETo pode ser calculada em dados diários, semanais, decendiais e mensais.

24

### Método Penman-Monteith (Padrão FAO – 1998)

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

- ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>)
- Δ - declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>)
- R<sub>n</sub> - saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)
- G - fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)
- γ - constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>)
- U<sub>2</sub> - velocidade do vento medido a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>)
- e<sub>s</sub> - pressão de saturação de vapor (kPa)
- e<sub>a</sub> - pressão atual de vapor (kPa)
- T - temperatura média do ar (°C)

### Método Direto de Estimativa da ET

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

Uso de lisímetros.

Custo elevado

### Método Eddy Correlation

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

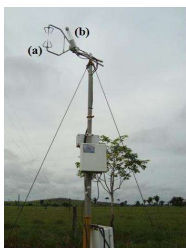


Figura 33 - Sistema Eddy Correlation. (a) Anemômetro sônico tridimensional e (b) analisador de gás por infravermelho. Fonte: Santos, 2010.

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

### Método Eddy Correlation

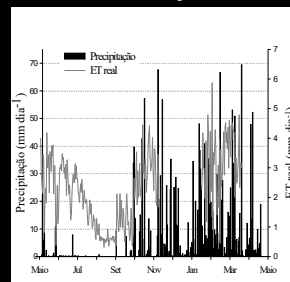


Figura 1 - Precipitação e evapotranspiração real medida pelo método de vórtices turbulentos na FNS, de maio de 2008 a abril de 2009. Fonte: Santos, 2010.

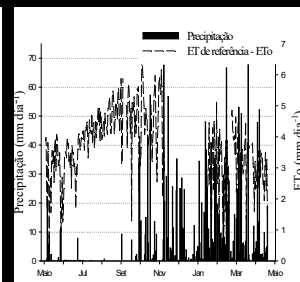


Figura 2 - Precipitação e evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith para a FNS, de maio de 2008 a abril de 2009. Fonte: Santos, 2010.

### Método Eddy Correlation

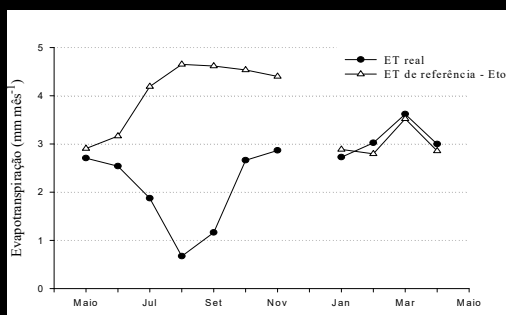


Figura 3 - Ciclo médio mensal da evapotranspiração real e de referência na FNS, de maio de 2008 a abril de 2009. Fonte: Santos, 2010.

### Curiosidades

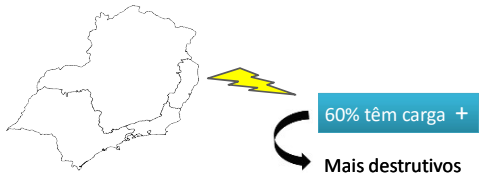
Brasil: o país dos 100 milhões de raios



Fonte: Super Interessante (2016).

### Curiosidades

*Brasil: o país dos 100 milhões de raios*



60% têm carga +  
Mais destrutivos

De acordo com o INPE 90% dos raios do mundo têm carga negativa.

Fonte: Super Interessante (2016). 31

### Curiosidades

*Brasil: o país dos 100 milhões de raios*

**Mortes e prejuízos**

Calcula-se que mais de 100 brasileiros morram todos os anos vítimas de raios (positivos e negativos)

Fonte: Super Interessante (2016). 32

### Curiosidades

*Brasil: o país dos 100 milhões de raios*

**Mortes e prejuízos**

Eletropaulo relatou 974 casos de falhas ou interrupções da rede elétrica causadas pelos raios em 2015.

Um grande blackout em toda a região da Grande São Paulo por uma hora

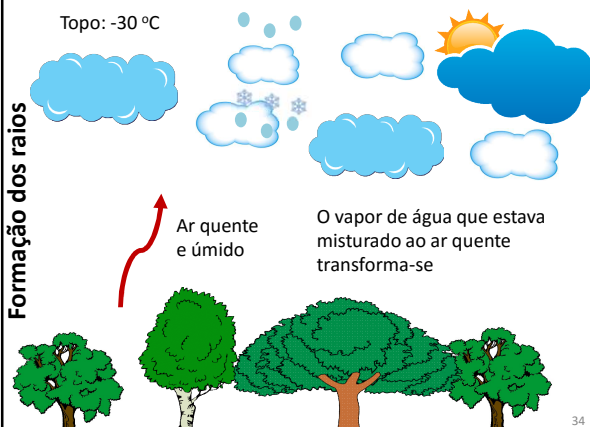
➔

Perda de 30 milhões de dólares

Fonte: Super Interessante (2016). 33

### Formação dos raios

Topo: -30 °C




Ar quente e úmido

O vapor de água que estava misturado ao ar quente transforma-se

34

### Formação dos raios



Os choques fazem o granizo e os cristais ficarem eletricamente carregados.

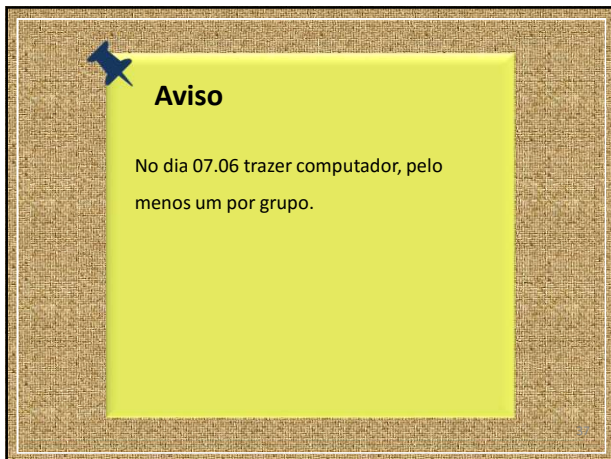
Em dado momento, as cargas positivas e negativas atingem intensidade muito alta.

35

### Raios



36



**Aviso**

No dia 07.06 trazer computador, pelo menos um por grupo.

## Referências

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

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

FON, A. C.; ZANCHETTA, M. I. **Brasil: o país dos 100 milhões de raios**. <http://super.abril.com.br/comportamento/brasil-o-pais-dos-100-milhoes-de-raios/>

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

38

## Referências

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

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.

39

## 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.

40