

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CASCAVEL, PR

Deborah Sandra Leal Guimarães Schneider; Márcio Antonio Vilas Boas; Miguel Angel Uribe-Opazo; Eurides Küster Macedo Junior

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, deborahschneider@uol.com.br

1 RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram determinar e analisar o Índice de Disponibilidade de Umidade (IDU) proposto por Hargreaves e Merkle. Para essas determinações, a evapotranspiração potencial foi estimada pelos métodos de Camargo, Thornthwaite e Hargreaves-Samani. Utilizou-se uma série pluvial, na cidade de Cascavel, PR referente ao período de 01-01-1973 a 31-12-2001. Os Índices de Disponibilidade de Umidade mostraram a existência de excedente hídrico na maioria dos meses, quando determinado em função da evapotranspiração pelos métodos de Thornthwaite e Camargo, e déficit pelo método de Hargreaves-Samani. O IDU determinado na forma decêndial apresentou déficit hídrico em agosto para os três métodos de evapotranspiração. Ressalta-se, entretanto, que o IDU usando-se o método de Hargreaves-Samani, mostrou déficits hídricos nos meses de abril, julho, setembro e novembro.

UNITERMOS: Evapotranspiração potencial, índice hídrico, e precipitação pluvial.

SCHNEIDER, D. S. L. G.; BOAS, M. A. V.; URIBE-OPAZO, M. A.; MACEDO JUNIOR.; E. DETERMINATION OF HUMIDITY AVAILABILITY INDEX FOR THE REGION OF CASCAVEL IN THE STATE OF PARANÁ

2 ABSTRACT

The objective of this paper was to determine and analyze Humidity Availability Index (HAI) proposed by Hargreaves and Merkle. For these determinations, potential evapotranspiration was estimated by Camargo, Thornthwaite, and Hargreaves-Samani methods. A pluvial series was used in the city of Cascavel, PR, Brazil, measured from 01-01-1973 to 12-31-2001. HAIs showed the existence of excessive hydric volume in almost all months when determined in favor of evapotranspiration using Thornthwaite and Camargos's methods, and a deficit using Hargreaves-Samani's method. Determined descending HAI showed a hydric deficit in August for all three evapotranspiration methods. However, using Hargreaves-Samani method, HAI presented a hydric deficit in the months of April, June, September, and November.

KEY WORDS: Evapotranspiration, Hydric Index, rainfall

3 INTRODUÇÃO

Atualmente, um assunto muito em pauta no mundo, diz respeito à disponibilidade de água no planeta. Essa importância se deve ao fato de que é a água que responde pela qualidade de vida e é a garantia de continuidade de toda espécie existente na terra. Segundo Portugal (2001), “o mundo tem ao seu dispor menos de 1% de água potável e que entre 8% e 12% dessa água está no Brasil”. Esta condição gera uma grande responsabilidade para o seu uso na irrigação porque, de acordo com Ribeiro (2001),

“A irrigação cresce a cada dia e essas técnicas respondem pelo maior consumo de água na natureza. A despeito de sua importância, a agricultura irrigada está sendo vista como uma indústria que contribui para a excessiva depleção das águas subterrânea e superficial, principalmente devido a um manejo ainda inadequado”.

Não é possível desvincular um estudo sobre água da produção de alimentos, do uso do solo e do manejo integrado dos recursos. De acordo com Ribeiro (2001), a irrigação responde pelo maior consumo de água na natureza, e este ainda é crescente. A despeito de sua importância, a agricultura irrigada está sendo vista como uma indústria que contribui para a excessiva depleção das águas subterrâneas e de superfície, principalmente devido a um manejo ainda ineficiente.

Em várias situações, apesar de a chuva ser um bem, ela pode também afetar de forma negativa, isso quando ocorre em excesso ou quando existe o déficit. Situações estas impossíveis de serem evitadas uma vez que se trata de um fenômeno natural.

Para Franke e Dorfman (1997), o déficit hídrico é uma consequência da aleatoriedade temporal e espacial da precipitação. Os autores concluem ainda que a maior causa da variação dos rendimentos das culturas está associada à quantidade de chuvas. Igualmente são importantes os estudos que visam definir as reais necessidades de irrigação para os diferentes climas e solos do Estado. Portanto, é preciso que os estados, em que existe a predominância do clima úmido, mantenham-se atentos às possíveis mudanças climáticas para evitar que haja queda de produção em função de uma condição inesperada.

A irrigação é um recurso hídrico para que se possa manter as culturas em condições de produção. É comum a idéia de que a irrigação deve ser feita apenas em regiões onde o clima úmido não seja dominante, mas Frizzone (1979:88) argumenta que:

“[...] dá-se grande importância à precipitação em regiões úmidas visto ser possível utilizar a precipitação provável da região e assim dimensionar um projeto de irrigação visando à irrigação suplementar, sendo que precipitação provável ou dependente é aquela precipitação mínima que tem uma probabilidade específica de ocorrência, baseada na análise de uma longa série de dados”.

Para Faria et al. (2000), a maximização do aproveitamento do recurso hídrico depende de um projeto de sistema de irrigação racional, ou seja, é preciso conhecer a demanda de água das culturas, do processo de retenção de água nos solos, da contribuição das chuvas e das perdas operacionais.

A irrigação suplementar em climas úmidos é ainda sugerida por Back et. al (1998), quando apontam que a irrigação suplementar tem sido recomendada para as regiões de clima úmido como forma de reduzir os riscos de ocorrência de déficit hídrico.

Sentelhas (2001), com relação a clima e irrigação, completa a informação com a seguinte afirmação: em toda região Sul, a irrigação é prática, aparentemente dispensável, porém é muito comum nessas áreas, a ocorrência de veranicos, com duração de 10 a 30 dias, ou ainda períodos secos provocados pela ocorrência do fenômeno climático *La niña*, é comum o emprego de irrigações complementares em algumas áreas. O autor mostra que não se pode

descartar, de forma definitiva, a necessidade de irrigação suplementar, principalmente, quando o agricultor costuma utilizar o período de veranico para aumentar a produção e este é um período aparentemente instável, com relação à precipitação.

Para Albuquerque (1997), é grande a importância da irrigação em todas as regiões agrícolas: em regiões áridas, a produção agrícola é totalmente dependente da irrigação; em regiões semiáridas e úmidas, a irrigação é usada como um modo de reduzir o estresse hídrico na planta (com perda de produtividade), em decorrência de períodos de seca.

Pelas informações apresentadas anteriormente já se mostrou, de certa forma, a importância do estudo da precipitação, principalmente quando se sabe que os rios brasileiros são dependentes da precipitação e, portanto, as informações climáticas, auxiliam no estudo do comportamento das redes hidrográficas.

O recurso que se tem é o de manter estudos que mostrem o comportamento das precipitações, de forma que se possa minimizar, tanto quanto possível, os efeitos negativos que ela possa causar.

De acordo com Hargreaves & Merkle (2000), quando os outros fatores da produção diferentes do clima são favoráveis, o desenvolvimento e crescimento da planta (cultura) estão determinados pela disponibilidade de energia e água.

Hargreaves & Merkle (2000), propõem algumas classificações do clima e sua produtividade agrícola com base no índice de disponibilidade hídrica, onde este índice expressa 75% de probabilidade de uma precipitação segura (P75%) dividido pela evapotranspiração.

Devido à dificuldade para se obter medidas precisas para a evapotranspiração, o mais comum é a sua estimativa a partir dos elementos meteorológicos. Um grande número de métodos empíricos e semiempíricos, para estimativa da evapotranspiração de referência, foi desenvolvido desde a década de quarenta, segundo Sentelhas (2001), quando Thornthwaite (1948), nos Estados Unidos, e Penman (1948), na Inglaterra, propuseram métodos desenvolvidos exclusivamente para estimar a evapotranspiração. Muitos desses métodos, no entanto, são de aplicação restrita, sendo válidos somente para condições climáticas específicas. Outros, porém, por apresentarem uma base física mais sólida, são universais, integrando todos os elementos que condicionam o processo de evapotranspiração. Apesar da maior confiabilidade desses últimos, nem sempre é possível o seu emprego, o que irá depender da disponibilidade de dados meteorológicos no local de interesse.

Os três métodos de evapotranspiração utilizados: Thornthwaite (1948), Camargo & Camargo (1983) e Hargreaves-Samani (1985) foram selecionados em função do clima da região de Cascavel e das informações meteorológicas obtidas, uma vez que a série estudada não apresentava dados de velocidade do vento, exigida em alguns métodos.

O presente trabalho objetivou determinar um Índice de Disponibilidade de Umidade, proposto por Hargreaves & Merkle (2000), aplicado à Cascavel, Paraná.

4 MATERIAL E MÉTODO

O estudo foi desenvolvido em Cascavel, PR, latitude 24°58'S e longitude 53°26'W. Utilizou-se uma série histórica diária, mensal e anual de precipitação pluvial referente ao período: 01/01/73 a 31/12/200 (29 anos).

Os dados pluviométricos foram coletados na estação meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), localizado em Cascavel, PR e cedidos pelo Sistema de Meteorologia do

Paraná (SIMEPAR), situado em Londrina, PR. As análises estatísticas foram realizadas com os dados mensais e decêndes.

4.1. Métodos de determinação da evapotranspiração de referência –ET₀

O método de Thornthwaite se baseia na relação empírica existente entre a E_{to} e a temperatura do ar, a qual expressa a energia disponível no ambiente. Este método foi desenvolvido e testado em condições de clima úmido.

Medeiros (1998) afirma que Resultados experimentais mostram que o método de Thornthwaite (1948) apresenta boas estimativas de ET₀ para o Sul do Brasil, o cálculo foi feito mediante a expressão (1)

$$ET_0 = ETPP (ND/30) (N/12) \quad (1)$$

onde:

ETP_p: é a evapotranspiração padronizada para um mês de 30 dias e para um fotoperíodo (N) igual a 12 h; expressa pela equação (2)

$$ETPP = 16 (10 T_m/I)^a \quad (2)$$

ND: é o número de dias do período considerado.

sendo:

T_m: é a temperatura média do mês em ° C;

$$I = \sum_{i=1}^{12} 0,2^{|T_i|} \quad (3)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (4)$$

sendo:

T_{ni}: temperatura média normal do mês em i

Estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Camargo & Camargo (1983) foi determinado pela equação 5:

$$ETP = 0,01 \cdot Q_0 \cdot T_{med} \cdot D \quad (5)$$

onde:

Q₀ : é a irradiância solar extraterrestre (tabelado), expressa em mm de evaporação equivalente;

T_{med} : é a temperatura média diária, em °C;

D = N° de dias

O método foi desenvolvido por Hargreaves E Samani (1985), para as condições de clima semi-árido da Califórnia. É recomendado pela Allen et al. (1998) como uma opção para a estimativa da E_{to}, quando se tem somente disponibilidade de dados de temperatura do ar local. Normalmente, provoca superestimativas em condições de clima úmido (Sentelhas; Camargo, 1996).

Estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET₀) pelo método de Hargreaves-Samani (1985):

$$ET_0 = 0,0023 \cdot Q_0 \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \cdot (T_{\text{med}} + 17,8) \quad (6)$$

onde:

T_{\max} : é a temperatura máxima do ar, °C ;

T_{\min} : é temperatura mínima do ar, °C;

T_{med} : é a temperatura média do período considerado, em °C;

4.2 Índice de Disponibilidade de Umidade (IDU)

Com a finalidade de efetuar uma avaliação da irrigação e seus possíveis benefícios, é necessário efetivar um reconhecimento tanto dos recursos disponíveis como de suas necessidades.

O Índice de Disponibilidade de Umidade (IDU) foi definido por Hargreaves & Merkle (2000) mediante a expressão 7:

$$IDU = \frac{P_{75\%}}{ET_0} \quad \text{ou} \quad IDU = \frac{P_{75\%}}{ET_p} \quad (7)$$

Sendo:

$P_{75\%}$, definido por Hargreaves & Merkle (2000) calculada pela equação (8):

$$P_{75\%} = \bar{P} - 0,74S \quad (8)$$

onde:

\bar{P} : é a precipitação pluvial média mensal (mm)

S : é o desvio padrão da média (mm)

As análises do IDU seguiram os critérios estabelecidos por Hargreaves & Merkle (2000) da seguinte maneira: se $IDU \leq 0,33$ indica déficit de umidade, se $IDU \geq 1,33$ indica excesso de umidade e se $0,33 < IDU < 1,33$ indica condições favoráveis de umidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para garantir as condições de normalidade dos dados, para aplicação do Índice de Disponibilidade de Umidade, os mesmos foram testados e normalizados. As normalizações foram feitas pela transformação de Box e Cox, Montgomery e Peck (1982), onde o valor transformado Y^* por:

$$Y^* = \begin{cases} \frac{Y^2 - 1}{\lambda}, & \text{se } \lambda \neq 0 \\ \log(Y) - \mu, & \text{se } \lambda = 0 \end{cases}$$

5.3. Determinação do Índice de Disponibilidade De Umidade – IDU.

Nota-se, na Tabela 1, que ao longo do período estudado, de 1973 a 2001, segundo o mês, o IDU dada pela relação com os métodos de Thornthwaite e de Camargo, indicam excesso hídrico em 6 meses, sendo de forma acentuada, nos meses de maio e junho, onde,

pelo método Thornthwaite tem-se o valor de 2,92 em maio e 2,17 em junho, e por Camargo, o IDU é de 2,77 em maio e 2,03 em junho. Já por Hargreaves-Samani, nota-se valores bem abaixo que os apresentados pelos dois primeiros métodos, apresentando, inclusive no mês de agosto, déficit hídrico, sendo o valor do índice dado por 0,28 e o restante dos meses indicam que o controle hídrico é naturalmente mantido. Em todos os métodos, nota-se muitas variabilidades no decorrer do período, com períodos de crescimento por 3 meses, uma queda e retorno no crescimento do resultado. Percebe-se, ainda, que houve seis meses no qual o IDU, calculado pela estimativa da evapotranspiração por Thornthwaite, apresentou resultados que indicam boas condições de umidade, isto ocorre nos quatro primeiros meses do ano e em agosto e setembro. Pela estimativa calculada por Camargo, as condições favoráveis de umidade ocorrem no primeiro triênio do ano e no terceiro triênio.

Os resultados obtidos para o IDU entre a estimativa da evapotranspiração por Thornthwaite e por Camargo com a estimativa da evapotranspiração por Hargreaves-Samani reforçam a necessidade de uma escolha adequada da evapotranspiração para o cálculo do IDU, em função do clima da região. No caso deste estudo, a estimativa mais adequada para Cascavel é evapotranspiração por Camargo e Thornthwaite, sendo que Hargreaves-Samani é mais adequado para um clima árido.

Nota-se, ainda, diferenças marcantes entre os IDU's obtidos por Thornthwaite e Camargo & Camargo com o método de Hargreaves-Samani, uma vez que os dois primeiros são calculados em função de estimativas de evapotranspiração adaptadas ao clima úmido, e o de Hargreaves-Samani é uma estimativa para climas semiáridos.

Tabela 1. Índice de Disponibilidade de Umidade (IDU) mensal, utilizando-se a evapotranspiração potencial estimada pelos métodos de Thornthwaite (1948), Camargo & Camargo (1983) e Hargreaves-Samani (1985), Cascavel – PR, no período de 1973-2001

MÊS	Thornthwaite	Camargo & Camargo	Hargreaves-Samani
Janeiro	1,07	1,01	0,50
Fevereiro	1,15	1,10	0,54
Março	0,79	0,79	0,40
Abril	1,31	1,33	0,57
Maio	2,92	2,77	1,11
Junho	2,17	2,03	0,77
Julho	1,25	1,12	0,41
Agosto	0,87	0,79	0,28
Setembro	1,38	1,17	0,44
Outubro	1,78	1,57	0,66
Novembro	1,66	1,51	0,67
Dezembro	1,47	1,38	0,64

A Tabela 2 mostra os resultados do IDU calculados a partir dos três métodos de estimativas de evapotranspiração potencial, na escala decêndial, referente à média dos 29 anos estudados.

Observa-se, pela Tabela 2, que, ao longo do período, o IDU calculado pelo método de Thornthwaite, só não apresentam excesso de umidade, nos meses de março e agosto, nos três decêndios. Nos demais meses, em pelo menos um dos decêndios, existe excesso de umidade.

O excesso mais elevado ocorre no mês setembro, no 2º decêndio, com valor de 2,04. Quanto à estimativa de Camargo, o excesso ocorre em: abril, no 3º decêndio; maio, junho e setembro, no 2º e 3º decêndios; em outubro, no 3º decêndio e novembro e dezembro, no 1º decêndio. O mês de maio é o responsável pelo mais alto índice do IDU com valor de 1,95 quando calculado pela estimativa de Camargo. Um déficit de umidade é observado no mês de agosto, no 3º decêndio, utilizando-se ETP de Thornthwaite (1948) e de Camargo (1971), com valores de 0,30 e 0,27 respectivamente, conforme Tabela 2. O IDU calculado em relação ao método de Hargreaves-Samani mostra a ocorrência de déficit de umidade para os meses de abril, julho, agosto, setembro e novembro no 1º decêndio com os IDU's de: 0,32, 0,31 e 0,24 respectivamente; no 2º decêndio, nos meses de julho, com resultado de 0,30, agosto com 0,18 e novembro com resultado de 0,28. Para o 3º decêndio, o déficit só é registrado no mês de agosto com IDU de 0,10.

O mês de agosto é o único que apresenta déficit de umidade nos três decêndios e com os menores índices de IDU.

Tabela 02. Índice de disponibilidade de umidade (IDU) mensal e decencial, utilizando-se a evapotranspiração potencial estimada pelos métodos de Thornthwaite (1948), Camargo & Camargo, (1983) e Hargreaves-Samani (1985), Cascavel – PR, 1973-2001

MÊS	Thornthwaite			Camargo & Camargo			Hargreaves-Samani		
	1º Dec	2º Dec	3º Dec	1º Dec	2º Dec	3º Dec	1º Dec	2º Dec	3º Dec
Janeiro	1,19	0,90	1,45	1,03	0,78	1,26	0,52	0,43	0,70
Fevereiro	1,44	1,35	0,82	1,26	1,17	0,72	0,62	0,62	0,38
Março	1,10	0,79	0,92	1,04	0,73	0,82	0,53	0,34	0,39
Abril	0,76	1,21	1,50	0,74	1,12	1,33	0,32	0,48	0,58
Maio	0,90	1,86	1,86	0,99	1,95	1,87	0,44	0,83	0,79
Junho	0,83	1,26	1,45	1,00	1,47	1,62	0,45	0,64	0,69
Julho	1,39	1,10	1,23	1,15	0,87	1,01	0,43	0,30	0,37
Agosto	1,04	0,63	0,30	0,83	0,49	0,27	0,31	0,18	0,10
Setembro	0,86	2,04	1,76	0,63	1,57	1,41	0,24	0,60	0,56
Outubro	1,49	1,55	1,77	1,16	1,24	1,48	0,48	0,54	0,65
Novembro	1,55	0,83	1,58	1,34	0,63	1,27	0,50	0,28	0,58
Dezembro	1,58	1,07	1,38	1,36	0,92	1,19	0,64	0,46	0,59

6. CONCLUSÕES

Pela determinação do Índice de Disponibilidade de Umidade – IDU, obteve-se as seguintes conclusões para Cascavel – PR :

Com a estimativa da evapotranspiração pelo método de Thornthwaite e de Camargo, houve excesso de umidade por um período mais prolongado no 3º decêndio.

Houve déficit de umidade pelos três métodos de evapotranspiração: por Thornthwaite e Camargo no mês de agosto, no 3º decêndio e por Hargreaves-Samani no mês de abril, no 1º decêndio; em julho, no 2º decêndio; nos três decêndios de agosto; setembro no 1º decêndio e novembro no 2º decêndio.

Pela estimativa da evapotranspiração pelo método de Hargreaves-Samani em comparação com Thornthwaite e Camargo mostram que existe contraposição entre os métodos, dado que o IDU calculado pela evapotranspiração pelo método de Thornthwaite e Camargo apresentou déficit apenas em agosto e pelo método de Hargreaves-Samani o período de déficit ocorreu em cinco meses.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBUQUERQUE, P. E. P. de. **Evapotranspiração**. Balanços de energia de água no solo e índice de estresse hídrico da cultura, em feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris*), submetido a diferentes freqüências da irrigação. Botucatu, 1997. f. xxx. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998, paper 56, 300 p. (FAO, Irrigation and Drainage paper 56), 1998.

BACK, A. J.; DORFMAN; R CLARKE. Avaliação de Métodos para Dimensionamento da Irrigação Suplementar em Clima Úmido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 3, n. 4, 33-49, out/dez 1998.

CAMARGO A. P., **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. Boletim técnico m 116, 24p. São Paulo, 1971.

CAMARGO A. P., CAMARGO, M. P. B., teste de uma equação simples para estimativa da evapotranspiração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEROLOGIA, 3, Campinas, Sp. Anais...Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/IAC, 1983, p. 229-244.

FRANKE, A. E.; R. DORFMAN. Análise Probabilística das Necessidades de Irrigação Suplementar no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 2, n. 2, 109-121, jul/dez 1997.

FARIA, R. T; FOLEGATTI, M. V.; OLIVEIRA, D. de. **Crescimento e desenvolvimento do feijoeiro sob diferentes regimes térmicos e hídricos**. Londrina: IAPAR, 1995.

FRIZZONE, J. A. **Análise de cinco modelos para cálculo da distribuição e freqüência de precipitações na região de viçosa, MG**. Viçosa, 1979:88. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa - MG.

HARGREAVES, G. H.; MERKLEY, G. P. **Fundamentos del riego**. Water Resources Publications, CLC. 221p, 2000.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Reference crop evapotranspiration from ambient our temperature.** Chicago, American Soc. Agric. Eng. Meeting, paper 85-2517, 1985

MEDEIROS, S. L. P., **Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria, RS.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, 6(1): 105-109, 1998.

MONTGOMERY D. C.; PECK E. A. **Introduction to Linear Regression Analysis,** John Wiley & Sons, New York, 504p, 1982.

PORTUGAL, A. D.; Uso competitivo da água, preservação do meio ambiente e desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada. Revista de Irrigação e Tecnologia. ITEM n° 50, Fortaleza – CE, 2º. trimestre de 2001.

RIBEIRO, R. S. Conferência 1, **Aspectos Ambientais, sociais, econômicos e científicos sobre o uso da água.** Revista Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM. n° 50, Fortaleza – CE, 2º. trimestre de 2001.

SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia aplicada à irrigação In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação.** Piracicaba: FUNEP, 2001. p 63 – 120,

SENTELHAS, P. C.; CAMARGO, A. P. Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, baseada no método de Hargreaves 1974. **Revista Brasileira de Agrometeorologia.** n. 4 v. 2, p. 77-81, 1996.

THORTNTHWAITE, C W., **An approach toward a rational classification of climate.** Geographic Rev., 38: 55-94, 1948.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, base soil and grass. London: **Proc R. Soc.**, 1948. A 193: p. 120-146,