

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Agrárias
Curso de Agronomia

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ENTRE MÉTODOS DE
PENMAN-MONTEITH E THORTHWAITE NO ESTADO DE SANTA
CATARINA**

Karina Smania De Lorenzi

**Florianópolis / SC
2010**

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Agrárias
Curso de Agronomia

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ENTRE MÉTODOS DE
PENMAN-MONTEITH E THORTHWAITE NO ESTADO DE SANTA
CATARINA**

Karina Smania De Lorenzi

**Trabalho apresentado como parte
dos requisitos para a Conclusão
do Curso de Graduação em
Agronomia, Universidade Federal
de Santa Catarina.**

**Orientador: Rosandro B. Minuzzi
Supervisor: Ângelo M. Massignam
EMPRESA: Epagri – Ciram**

**Florianópolis / SC
2010/2**

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DESCRIÇÃO DA EMPRESA	3
3. OBJETIVOS	5
3.1 Objetivo geral	5
3.2 Objetivo específico	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4.1 Características climáticas de Santa Catarina	6
4.2 Evapotranspiração	6
4.2.1 Métodos de estimativa de evapotranspiração.....	9
4.3 Variáveis meteorológicas	12
4.3.1 Temperatura do ar	12
4.3.2 Radiação solar	13
4.3.3 Velocidade do vento	14
4.3.4 Umidade Relativa	15
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
5.1 Dados e área de estudo.....	16
5.2 Preenchimento de falhas.....	19
5.3 Métodos de Estimativa da ETo.....	20
5.3.1 Método de Thornthwaite.....	20
5.3.2 Método de Penman-Monteith (Padrão FAO-1998).....	21
5.4 Metodologias estatísticas.....	22
5.5 Ferramentas computacionais.....	23
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
6.1 Correlação entre os métodos Penman-Monteith e Thornthwaite.....	24
6.2 Análise de sensibilidade.....	27
6.3 Método de Tukey.....	32
7. CONCLUSÕES.....	34
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

AGRADECIMENTOS

Á minha família, pelo carinho e apoio, ao longo de toda minha graduação.

Ao Prof. Rosandro B. Minuzzi, pela orientação, paciência, compreensão e incentivo expressado na realização desse trabalho.

Ao co-orientador Angelo Massignam pela ajuda, disponibilidade e oportunidade de realização do estágio.

Á equipe de trabalho do Ciram, em especial, Fábio e Manu pela ajuda na manipulação de dados.

A todos que foram meus professores e exerceram papel importante na minha formação.

Aos bons amigos do CCA, pela excelente convivência durante o período do curso.

Á Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pela oportunidade e infra-estrutura, disponibilizada no curso de graduação.

E a Deus sobre todas as coisas, que através da natureza nos traz grandes ensinamentos.

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no estudo e delimitada por regiões climaticamente homogêneas.....	17
2. Utilização do Sisagro II para a estimativa da Evapotranspiração por Penman-Monteith.....	23
3. Utilização do Sisagro II para a estimativa da Evapotranspiração por Thornthwaite.....	23
4. Gráfico de dispersão da correlação entre o método Penman-Monteith e Thornthwaite na escala decencial.....	26

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Informações das estações meteorológicas, como o código, número de anos da série histórica e região agroecológica a qual pertencem	18
2. Parâmetros da equação de regressão, como coeficiente correlação (R), estimativa de erro padrão (EEP) e teste F para as 22 estações de Santa Catarina, na escala decendial.....	25
3. Parâmetros da equação de regressão, coeficiente de determinação (R), estimativa de erro padrão (EEP), teste F para 22 estações de Santa Catarina, na escala mensal.....	25
4. Coeficiente de correlação (R), entre a Evapotranspiração e quatro variáveis meteorológicas com a equação de regressão múltipla, teste F e o erro de estimativa padrão (EEP).....	28
5. Correlação da Evapotranspiração por Penman-Monteith com as variáveis meteorológicas: temperatura (T), umidade relativa (UR), insolação (I), velocidade do vento (VV), equação de regressão, teste F e erro de estimativa padrão (EEP).....	29
6. Aplicação do método de Tukey para as médias decendiais da ETo estimada por Penmam-Monteith (PM) para as 22 estações meteorológicas agrupadas pelas regiões climáticas.....	33

RESUMO

O estudo da evapotranspiração é de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, na elaboração de projetos e no manejo de sistemas de irrigação e drenagem. O trabalho teve como objetivo principal correlacionar a evapotranspiração de referência (ET_o) entre os métodos de Penman-Monteith (PM) e Thornthwaite (TH) de 22 estações meteorológicas localizadas em Santa Catarina. O método da Regressão Linear foi utilizado para analisar a correlação existente entre a ET_o estimada pelos dois métodos na escala decendial e mensal, e na análise de sensibilidade. Para analisar quais médias decendiais da ET_o (PM) são consideradas diferentes de outras localizadas numa mesma região climática, foi utilizado o método de Tukey. Os resultados mostram que a média decendial de todas as estações da mesma região não diferiram estatisticamente entre si, indicando que a ET_o (PM) obtida em um ponto, pode ser aplicado em qualquer outro ponto, desde que estejam na mesma região climática. A comparação da ET_o estimada pelos dois métodos indicam altas e significativas correlações, tanto na escala mensal quanto na decendial, possibilitando, assim, estimar a ET_o (PM) apenas com dados da temperatura do ar.

Palavras-chave: Evapotranspiração, Penman-Monteith, Thornthwaite.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do tempo e clima ocupa uma posição central importante no amplo campo da ciência ambiental. Os processos atmosféricos influenciam principalmente na biosfera, hidrosfera e litosfera (AYOADE, 2010).

Na meteorologia, a transferência de água para a atmosfera tem grande importância, pois condiciona a energética da atmosfera e altera as características das massas de ar nela existentes. Além disso, condiciona a evolução do ciclo hidrológico, sendo uma seqüência fechada de fenômenos naturais em que o globo cede à atmosfera água no estado de vapor, posteriormente devolvida no estado líquido ou sólido por precipitação na superfície da Terra a qual é parcialmente retida, escoando-se e infiltrando-se, e por onde passa novamente para a atmosfera no estado de vapor através dos processos de evaporação e transpiração (HENRIQUE, 2006).

A evapotranspiração é o processo combinado da evaporação pela superfície do solo e transpiração pelas plantas. Allen et al. (1998) expressam a evapotranspiração de referência (ET_o) como sendo a água evaporada do solo e transpirada pelas plantas em uma superfície coberta por vegetação rasteira, uniformemente distribuída, em fase de crescimento ativo, em solo com perfeita condutibilidade hídrica e mantido sempre úmido, próximo à capacidade de campo.

Os métodos para obtenção da E_{to} estão divididos em diretos e indiretos. Os métodos diretos fazem uso de equipamentos como os lisímetros. Porém, essa medida é difícil e onerosa, justificando sua utilização apenas em condições experimentais (PEREIRA et al., 2002). Segundo Vanzela et al. (2007), os métodos indiretos estimam a evapotranspiração em função da E_{to} e do coeficiente de cultura (K_c). A escolha de um método de estimativa da E_{to} depende de uma série de fatores, tais como, a disponibilidade de dados meteorológicos e a escala de tempo desejada (MENDONÇA, 2008). Esses modelos podem ser simples, como os baseados somente na temperatura de Thornthwaite, até os mais complexos, que envolvem o balanço de energia, como de Penman-Monteith.

O método de Penman-Monteith (PM) foi criado pela FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), em 1998, onde estabeleceu o método de PM como um modelo padrão para estimativa de evapotranspiração, principalmente se for à escala diária. No entanto, este método apresenta certa dificuldade de utilização pela quantidade de dados meteorológicos que necessita.

Santa Catarina está entre os seis principais Estados produtores de alimentos e apresenta os maiores índices de produtividade por área. O setor agrícola representa 12,8% do PIB estadual. O setor primário destacou-se no cenário nacional em 2000, como primeiro produtor de cebola, maçã e carnes suínas; segundo produtor de carne de frangos, alho, fumo e mel de abelha e terceiro de arroz e banana. Destaca-se ainda pelos altos níveis de produtividade do alho, arroz, maçã, suínos, aves e fumo. A vinculação com os complexos agroindustriais estabelecidos no Estado, constitui-se no grande motor da economia local (EPAGRI, 2010).

Na agricultura, informações da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, na elaboração de projetos e no manejo de sistemas de irrigação e drenagem.

2. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O estágio de conclusão de curso foi realizado na empresa Epagri (-Ciram.

A Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S/A) foi criada em 1991, no bojo de uma profunda reforma administrativa promovida pelo governo estadual no Serviço Público Agrícola, que fundiu e incorporou numa só instituição os serviços de pesquisa agropecuária até então desenvolvidos pela Empasc (Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária S.A.), de extensão rural pela Acaresc (Associação de Crédito e Assistência Rural de Santa Catarina), de extensão pesqueira pela Acarpesc (Associação de Crédito e Assistência Pesqueira de Santa Catarina), além do serviço de fomento apícola, à cargo do IASC (Instituto de Apicultura de Santa Catarina). O objetivo da fusão-incorporação foi racionalizar os recursos e atividades, aproximando mais os trabalhos de pesquisadores e extensionistas, em busca de reflexos positivos para o produtor rural.

O Ciram (Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina) foi criado em 30 de março de 1998 para dotar o Estado de SC de uma estrutura capaz de levantar e monitorar seus recursos naturais e o meio ambiente. Está localizado em Florianópolis (SC), juntamente com a Sede Administrativa da Epagri, integrado a uma rede de estações experimentais e centros especializados, localizados estrategicamente nas diversas regiões climáticas do Estado de Santa Catarina. Tem por objetivo integrar dados e informações dos recursos ambientais de forma eficiente, estruturando um centro de referência com equipamentos, materiais e equipe multidisciplinar para o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias e para a prestação de serviços especializados. A Epagri/Ciram valoriza o intercâmbio com outras instituições estaduais, nacionais e internacionais, por meio de cooperação técnico-científica, inserindo-se no contexto global da administração de informações sobre recursos ambientais.

O Centro é uma unidade de excelência e referência em pesquisa e difusão de informações ambientais em Santa Catarina e no Brasil, reconhecida por tratar os problemas ambientais com visão sistêmica, apresentar propostas de soluções adequadas ao setor produtivo e ao meio ambiente, estar

comprometida com o bem-estar da sociedade e armazenar, organizar, gerar, disponibilizar e difundir informações ambientais.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Estudar a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith e o de Thornthwaite no Estado de Santa Catarina.

3.2 Objetivos específicos

- Estimar a evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith e Thornthwaite.
- Verificar a correlação entre os referidos métodos em diferentes escalas de tempo.
- Realizar a análise de sensibilidade da ETo (PM) com algumas variáveis meteorológicas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Características climáticas de Santa Catarina

O clima de uma determinada localidade é formado por uma complexa interação entre os continentes, oceanos e as diferentes quantidades de radiação recebida do sol. O movimento da Terra em torno deste astro faz com que essa quantidade de energia recebida em cada localidade varie ao longo do ano, criando um ciclo sazonal responsável pelas estações de verão, outono, inverno e primavera.

Segundo Braga & Ghellre (1999), o Estado de Santa Catarina apresenta características térmicas das mais amenas do Brasil. Na região Sul, a circulação atmosférica é controlada pelos sistemas de massas de ar tropicais e polares, regulada pelos fenômenos resultantes do choque dessas, a frente polar. Atuam sobre o Estado de Santa Catarina as seguintes massas de ar: Tropical Atlântica (Ta), Polar Atlântica (Pa), Tropical Continental (Tc) e Equatorial Continental (Ec). As massas Tropical e Polar Atlântica predominam alternadamente em todas as estações do ano, segundo Mira, 1974.

Braga e Ghellre (1999) criaram uma metodologia definida por onze regiões climáticas diferentes (Figura 1). Esta definição se resume em uma classificação adequada de clima que aborde de forma mesoclimática as diversas regiões do Estado, podendo-se utilizar tal diferenciação climática para fins de Zoneamento Agrícola ou Agroecológico genérico.

4.2 Evapotranspiração

Evapotranspiração é a perda de água de uma superfície com qualquer tipo de vegetação e sob qualquer condição de umidade para a atmosfera. Este foi o termo usado por Thornthwaite e Wilm, em 1944, para expressar a ocorrência simultânea dos processos de evaporação no solo e de transpiração das plantas (BORGES e MEDIONDO, 2007).

A evaporação é o processo físico em que a água no estado líquido, presente na superfície do solo, sobre as plantas, nos cursos de água, lagos,

reservatórios e mares, passa para o estado gasoso. Já a transpiração é a perda da água das células vivas dos tecidos vegetais através dos estômatos (poros de respiração das plantas). Mesmo sendo um processo físico, a transpiração é o único componente de evapotranspiração sob controle fisiológico da planta. Apesar de o processo de transpiração não ser idêntico ao de evaporação ambos são influenciados pelos mesmos fatores tais como disponibilidade de energia, demanda atmosférica e poder evaporante do ar, representados pelas variáveis climatológicas como radiação, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento. Além destes, fatores relativos à planta também influenciam a evapotranspiração, podendo-se citar o albedo característico da planta, o estágio de desenvolvimento e o tamanho da superfície foliar transpirante, pois quanto maior a área foliar, maior a superfície transpirante e maior o potencial para o uso de água (GIACOMONI, 2005).

As primeiras definições de evapotranspiração foram introduzidas por Thornthwaite (1948), que conceituou “evapotranspiração potencial” (ETP) como a perda máxima de água em uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberto com vegetação, em fase de desenvolvimento ativo e com dimensão suficientemente extensa de modo a minimizar os efeitos de energia advectiva local. Se alguma dessas condições não for atendida, tem-se a evapotranspiração real (FILHO, 2007).

Penman (1948) definiu a evapotranspiração potencial como a quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo de uma pequena superfície gramada, cobrindo o solo uniformemente estando o mesmo sem deficiência de água. A evapotranspiração é um processo complexo que depende da energia solar e da reserva hídrica do solo em menor grau, e em condições difíceis de avaliar, a natureza e as características da cobertura vegetal e pedológica do solo (MALTEZ *et al.*, 1986).

Segundo Dantas (1995), a evapotranspiração consiste numa das maiores preocupações na medição dos parâmetros agrometeorológicos, tendo em vista que a perda d'água da superfície terrestre tem muita influência no desenvolvimento das culturas, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas onde o déficit de água é bem caracterizado, e a irrigação desempenha papel importante na suplementação de água exigida por cada cultura.

Tendo em vista os aspectos discutidos, houve preocupação de melhor definição das condições de contorno, com a introdução do termo “evapotranspiração de referência”.

O termo evapotranspiração de referência (ET_o) foi definido por Doorenbos e Pruitt (1977) como aquela que ocorre em uma extensa superfície coberta com grama de 0,08 a 0,15m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. Já Smith (1991) define como sendo aquela de uma “cultura hipotética”, com altura fixa de 0,12m, albedo igual a 0,23 e resistência da cobertura ao transporte de vapor de água igual a 69 s.m^{-1} , que representa a evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, com crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem falta de água. Pozzebon et al. (2003) expressam, por outro lado, a ET_o como sendo a água evaporada do solo e transpirada pelas plantas em uma superfície coberta por vegetação específica rasteira, uniformemente distribuída, em fase de crescimento ativo, em solo com perfeita condutibilidade hídrica e mantido sempre úmido, próximo à capacidade de campo. Assim a ET_o não considera as características da cultura e fatores do solo, sendo função apenas das condições meteorológicas.

Bernado et al. (1996) relatam que a ET_o pode ser determinada por métodos diretos e indiretos, sendo os métodos diretos os que utilizam lisímetros, parcelas experimentais no campo, controle de umidade do solo e método de entrada e saída de água em grandes áreas. Dos métodos diretos, o procedimento mais preciso para se determinar a ET_o é a utilização de lisímetros. Estes foram desenvolvidos há mais de 60 anos, consistem de tanques contendo solo representativo da área de interesse e são utilizados sobretudo para medir os componentes do balanço de água no sistema solo-planta-atmosfera, sob tratos culturais e condições climáticas específicas. Os lisímetros podem apresentar diversas formas e sistemas de medidas, porém os que usam mecanismos de pesagem são considerados os mais precisos e sensíveis para a determinação direta da evapotranspiração, pelo balanço de massa de água (FARIA et al., 2006). Apesar de precisos, os lisímetros apresentam alguns problemas que dificultam sua operação em escalas de tempo muito reduzidas. Além disso, apresentam custos elevados e seu uso tem

ficado restrito a instituições de pesquisas, tendo sua utilização justificada na calibração regional de métodos indiretos.

Os métodos indiretos estimam a evapotranspiração por meio de modelos que necessitam do conhecimento das variáveis meteorológicas. Esses modelos podem ser simples, desde os baseados na temperatura, como o de Thornthwaite em 1948 (PEREIRA et al., 2002), até os mais complexos, que envolvem o balanço de energia, como o de Penman-Monteith (VANZELA et al., 2007 apud ALLEN et al., 1998). A evapotranspiração de uma cultura específica pode ser estimada a partir da ETo.

O estudo mais aprofundado da estimativa da evapotranspiração é de extrema importância na agricultura, pois a adaptação ideal do uso da água na irrigação de acordo às necessidades hídricas está implicitamente ligada com o conhecimento da evapotranspiração das culturas (MENDONÇA, 2008). Por isso, a ETo requer a adoção contínua de estudos, avaliações e ajustes para sua correta utilização.

4.2.1 Métodos de estimativa de evapotranspiração

Segundo Sedyama (1996), estimativa da evapotranspiração é relativamente mais difícil e complexa, quando comparada a da precipitação e do escoamento superficial. Por esta razão, vários métodos foram desenvolvidos visando uma estimativa mais precisa. No entanto, Pereira et al. (1997) chamam a atenção que a escolha de um método de estimativa da evapotranspiração potencial depende de uma série de fatores. Entre eles está a disponibilidade de dados meteorológicos, escala de tempo requerida e as condições climáticas para as quais foram desenvolvidos tais métodos.

Existem diversos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e alguns somente podem ser aplicados para estimativas mensais, outros para intervalos decendiais ou maiores (LIMA, 1991), os quais proporcionam valores diferentes, sendo essa diferença consequência também do local e da estação do ano (OLIVEIRA e VOLPE, 2003). A escolha do método a ser utilizado é em função da disponibilidade de dados climáticos. Os

métodos disponíveis para o cálculo da evapotranspiração envolvem variáveis meteorológicas que algumas vezes tem influência direta na sua determinação. Por esse motivo, vários métodos podem ser usados e testados de acordo com a disponibilidade dos dados existentes, nas estações meteorológicas, e verificar a compatibilidade dos resultados não só com o ambiente, mas também com a influência dessas variáveis na metodologia formulada.

Pereira et al. (1997) classificou esses métodos em cinco categorias: empíricos, aerodinâmicos, balanço de energia, combinados e correlação dos turbilhões (vórtices).

Dentre os vários métodos de estimativa da ETo, para a escala diária, a FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) adotou o de Penman-Monteith como padrão. Esse método, no entanto, exige um maior número de dados meteorológicos, o que muitas vezes limita a sua utilização, sendo empregado principalmente em projetos de pesquisas (PEREIRA et al., 1997).

Allen et al. (1989), comparando a evapotranspiração de referência obtida pelos métodos de Penman, Kimberly-Penman, Penman corrigido e Penman-Monteith (PM) com medições lisimétricas, observaram que o modelo de Penman-Monteith foi o que melhor se ajustou as medições diárias e mensais. Concluíram que a alfafa se ajusta melhor que a grama como cultura padrão na determinação da evapotranspiração de referência, visto que sua altura e rugosidade se aproximam da maioria das culturas agrícolas.

Para formular a equação de Allen (1986), foi introduzida na equação de Penman (1948) a função de resistência da superfície foliar para cada tipo específico de cultura, em adicional ao termo já existente de resistência aerodinâmica. Desta modificação, a equação de Allen (1986) tornou-se precisa para estimativa da ETo. Para Sedyama (1996), o método de PM apresenta a vantagem de proporcionar bons resultados tanto em termos horários quanto em diários, sendo também preferível utiliza-los quando os dados lisimétricos são de qualidade duvidosa.

Segundo Camargo e Camargo (2000) este modelo prediz com eficácia a ETo em diversas condições de umidade atmosférica necessitando, entretanto, de vários elementos meteorológicos que nem sempre se encontram disponíveis em algumas regiões. A alternativa, segundo os autores, é o uso de equações

simplificadas que considerem a ETo uma variável meteorológica padrão para emprego na agrometeorologia.

O método de Penman-Monteith consiste em um método combinado na associação dos termos diabáticos (saldo de energia na superfície) e adiabáticos (processo de transferência pelos componentes aerodinâmicos) da evaporação. Jacobs (2001) afirma que as equações do tipo combinado têm os melhores resultados para uma maior variedade de superfícies vegetadas e climas. Por isso, sua aplicação é a mais recomendada, desde que o local possua todas as variáveis necessárias.

Já outros modelos empíricos que utilizam certas variáveis meteorológicas básicas, que em conjunto com outras características edáficas e comunidades vegetais, determinam o fluxo total de vapor da água no sistema solo-planta, e, portanto, são úteis para estimar evapotranspiração potencial (MEDEIROS, 2008). Entretanto, Sedyama (1996) atenta que, geralmente os métodos empíricos são aplicáveis apenas à longos períodos. Neste caso, a exatidão das estimativas está limitada pela dependência de poucas variáveis. Mas pode ser uma boa alternativa, se a equação for ajustada localmente, exatamente pela necessidade de poucos parâmetros.

Métodos empíricos muito comuns são os métodos que contam com a temperatura do ar como variável principal, em substituição ao balanço de energia (JACOBS, 2001). Um exemplo desse tipo de método é o de Thornthwaite.

O método de Thornthwaite foi desenvolvido em 1948, visando a estimativa da evapotranspiração potencial mensal de um gramado, como os encontrados nos postos meteorológicos. Thornthwaite baseou-se no balanço hídrico de bacias hidrográficas localizadas na região leste e central dos Estados Unidos e medições de evapotranspiração a partir de lisímetros para desenvolver seu método, que utiliza apenas a temperatura como variável independente (PEREIRA et al., 1997).

A equação de Thornthwaite expressa a evapotranspiração potencial como uma função exponencial da temperatura média mensal. Righi et al. (1997) apud Pereira e Camargo (1989) relata que o método de Thorthwaite (1948) pode ser usado em projetos de irrigações, em classificações climáticas e zoneamento agroclimático.

O bom desempenho do método Thornthwaite foi comprovado por Camargo (1962) em escala mensal. É um método simples de aplicação clássica no Brasil, mas o seu desempenho em escala diária pode ser questionável, embora pouco testado.

4.3 Variáveis meteorológicas

As principais variáveis meteorológicas influentes no processo de evapotranspiração são a temperatura, a precipitação, a radiação solar, a velocidade do vento e a umidade relativa. Torna-se complicado analisar separadamente a ação de cada um dos elementos meteorológicos no processo, pois os mesmos agem interligados (VILLA NOVA, 1987).

4.3.1 Temperatura do ar

A confirmação da atuação da temperatura do ar na demanda evaporativa está ligada a radiação solar absorvida pela atmosfera e o calor emitido pela superfície cultivada. O ar aquecido na camada próxima à cultura além de transferir energia para a planta na forma de calor sensível, elevando as taxas evapotranspiratória, também interfere na taxa fotossintética das plantas. As reações da fotossíntese se tornam menores em situações que a temperatura do ar é menor e maiores com o aumento dessa variável meteorológica, salientado que, cada cultura possui seus limites de resistência térmica (TEIXEIRA et al., 2004). No momento que o balanço de radiação sofre uma determinada influência, a temperatura do ar também sofrerá, e isso é ocasionado devido à altura do sol que é determinada pela latitude, hora e dia do ano, como também a nebulosidade e a natureza de cobertura da terra.

A ausência de dados meteorológicos e a importância da temperatura em atividades da agricultura justificam a investigação da influência das coordenadas geográficas sobre a temperatura média e a elaboração de modelos para sua estimativa, a partir deste fator climático. Além disso, estimativas em escala decenal possibilitam estudos mais detalhados em relação às escalas mensal e anual. Esta é importante para a determinação das

melhores épocas de semeadura das culturas anuais, entre outras aplicações (MASSIGNAM et al., 2005).

4.3.2 Radiação solar

A radiação solar global pode ser definida como o total de energia emitida pelo sol, que incide sobre a superfície terrestre, com comprimento de onda compreendido entre 150 e 4.000nm (FILHO et al., 2007 apud ROSENBERG, 1974).

É uma das principais variáveis meteorológicas que compromete a evaporação da água do solo e a transpiração das plantas, sendo fator condicionante das temperaturas do ar e do solo (PEREIRA et al., 2002).

A radiação solar oferece energia utilizada nos processos de aquecimento e resfriamento do ar e do solo, na transferência de vapor d'água da superfície para a atmosfera e no metabolismo das plantas e dos animais (SILVA et al., 2002). É a variável meteorológica que mais afeta a Evapotranspiração da cultura em ambientes protegidos (DALMAGO et al., 2006 apud YANG et al., 1989). Uma de suas importâncias é o fornecimento de energia para os processos biológicos e meteorológicos que ocorrem na superfície. Para as plantas é, tanto, quantitativa (densidades de fluxos de energia usada na fotossíntese) como qualitativamente (comprimento de ondas e fotoperíodo, para indução ao florescimento e fotossíntese).

A radiação solar constitui-se no mais importante elemento meteorológico, pois dela depende basicamente os processos físicos que ocorrem na atmosfera. Portanto, a determinação da radiação solar em locais distintos da superfície terrestre é motivo constante de pesquisas, que cada vez tornam-se mais ampla tanto em relação ao crescente número de métodos de estimativas testados quanto em relação com as características específicas de cada interesse (SILVA et al., 2005).

Nem toda radiação global que chega é retida pela superfície do solo, parte desta é refletida e parte reirradiada. Ao penetrar na atmosfera sofre uma série de processos, provocando várias modificações, pois uma grande parte da radiação incidente é refletida pelas nuvens e difusamente espalhada pela

atmosfera (GALVÃO & FISCH, 2000). Outras perdas são referentes à absorção de parte dessa radiação incidente pelos gases suspensos na atmosfera como o vapor d'água, ozônio e dióxido de carbono (TEIXEIRA *et al.*, 2004).

Na superfície da Terra, a radiação solar condiciona a evaporação da água em superfícies líquidas e do solo úmido e é necessária para o desenvolvimento vegetal, além de ser fundamental as atividades do ser humano (HENRIQUE, 2006).

A radiação solar é medida por instrumentos como os radiômetros, actinógrafos bimetálicos e piranômetros. De acordo com Thorton & Running (1999), a medida da radiação solar é de grande valor nos estudos da agrometeorologia, o número de estações que procedem ao seu registro diário na superfície terrestre é muito restrito, quando comparada com aquelas que registram a temperatura e a precipitação. Os fatores que impossibilitam a aquisição de dados sobre radiação solar são os altos custos dos instrumentos meteorológicos que medem essa variável e a manutenção dos mesmos (MENEZES *et al.*, 2003).

Não se tendo em mãos medições, o balanço de radiação e suas componentes podem ser estimados a partir de outras variáveis meteorológicas. Uma das formas de estimativa da radiação solar global pode ser feita a partir da insolação diária, utilizando a equação de Angstrom (Pereira *et al.*, 2002).

4.3.3 Velocidade do vento

O vento atua no processo da evaporação renovando o ar em contato com as massas de água ou com a vegetação, afastando do local as massas de ar que já tenham grau de umidade elevado. No processo de evapotranspiração a remoção do vapor d'água depende, em grande parte, do vento e da turbulência do ar. Nesse processo, o ar acima da cultura vai se tornando gradativamente saturado com vapor d'água. Se não há reposição de ar seco, a evapotranspiração da cultura decresce (TEIXEIRA *et al.*, 2004).

A velocidade média diária do vento medida a dois metros acima do nível do solo é requerida para estimativa da ETo. Por isso, é importante verificar a

altura na qual é feita a sua medição, uma vez que as velocidades do vento obtidas a diferentes alturas diferem entre si (COUTO e SANS, 2002).

Em consequência do atrito entre a massa de ar em deslocamento e a superfície do solo, a velocidade do vento diminui com decréscimo da altura, sendo nula junto à superfície. A citação de um dado valor de velocidade do vento precisa sempre vir acompanhada da altura de sua medição (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980).

Allen et al. (1998) citaram que a importação de dados da velocidade do vento de outras estações pode ser feita se o clima na variação de outros parâmetros meteorológicos e o relevo forem semelhantes. Em condições normais, ventos fortes são freqüentemente associados com baixa umidade relativa, e ventos leves são comuns com umidade relativa alta. Assim, tendências nas variações das umidades relativa diária máxima e mínima devem ser semelhantes em ambos locais (LIMA, 2005).

4.3.4 Umidade relativa

Umidade é o termo usado para descrever a quantidade de vapor de água contido na atmosfera. O vapor de água atmosférico se origina a partir da superfície terrestre pela evaporação e transpiração.

A umidade relativa (UR) é a razão entre o conteúdo real de umidade de uma amostra de ar e a quantidade de umidade que o mesmo volume de ar pode reter na mesma temperatura e pressão constante. É geralmente expressa na forma de porcentagem. Esta é a medida de umidade do ar mais popularmente usada, porque é facilmente obtida e computada, usando-se, por exemplo, termômetros de mercúrio de bulbo seco e de bulbo úmido, denominados de psicrômetro. A UR é grandemente influenciada pela temperatura do ar. O valor pode variar se houver uma mudança na temperatura do ar, mesmo que não tenha havido nenhum aumento ou diminuição em seu conteúdo de umidade (AYOADE, 2010).

O aumento da umidade relativa do ar diminui a transpiração das plantas devido à diminuição do gradiente de concentração de vapor entre a cavidade estomática e o ar adjacente à folha, mediada pela redução do déficit de

saturação de vapor do ar (VALANDRO et al., 1999). O aumento da resistência ou o fechamento estomático podem ocorrer também, com baixos níveis de umidade relativa do ar, o que reduziria ainda mais a relação com a E_{Tc} (DAMALGO et al., 2006 apud BAILLE et al., 1994). Segundo Bastos (2005) a importância da umidade do ar deve-se principalmente ao fato de estar relacionada a influência na demanda evaporativa atmosférica e assim pode-se dizer que quando muito baixa ou muito elevada torna-se prejudicial para a maioria das plantas. Umidade relativa abaixo de 60% pode ser prejudicial por aumentar a taxa de transpiração e acima de 90% reduz a absorção de nutrientes, devido à redução da transpiração, além de favorecer a propagação de doenças fúngicas.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Dados e área de estudo

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados meteorológicos de 22 estações convencionais situadas no estado de Santa Catarina (Figura 1).

A posição geográfica do estado, entre outros fatores, torna-se fundamental em sua configuração climática. Assim, o estado apresenta os seguintes tipos climáticos: subtropical, úmido, com temperaturas médias mensais que variam entre 13°C e 25°C (CARPANEZZI et al., 1988).

Os dados meteorológicos diários são de temperaturas média, máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento a 10 metros e insolação. As estações foram escolhidas de acordo com os dados disponíveis para realização dos cálculos.

Informações adicionais de cada estação meteorológica estão dispostas na Tabela 1, como município e região climática a qual pertence (BRAGA & GHELLRE, 1999).

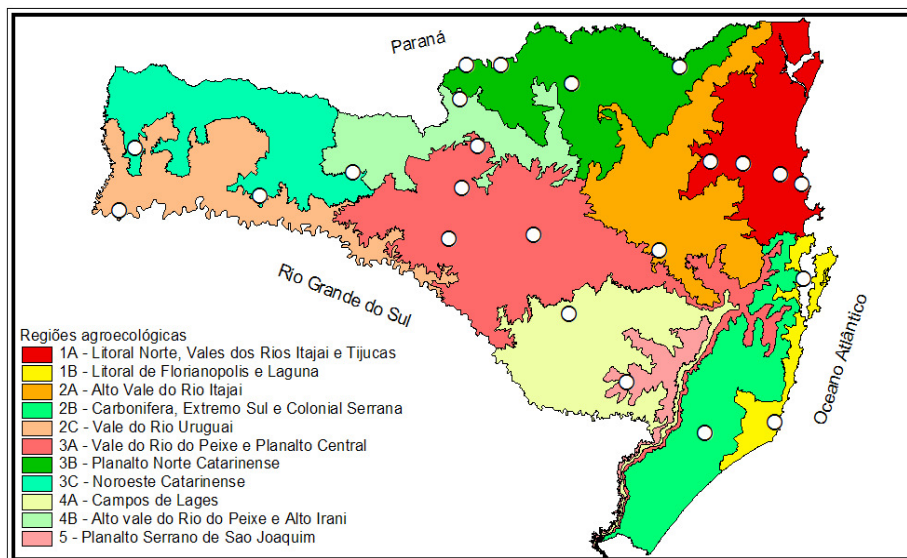


Figura 1 - Localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no estudo e as regiões climaticamente homogêneas de acordo com Braga & Ghellre (1999).

Tabela 1 - Informações das estações meteorológicas, como o código, número de anos da série histórica e região climática a qual pertencem.

Regiões	Código da estação	Nome Estação	Série (anos)	Latitude	Longitude	Altitude
1A	167	Indaial	17	26.91305556	49.2675	86.13
	183	Itajaí	27	26.95027778	48.76138889	5
	34	Blumenau	18	26.9211	49.05416667	12.7
	78	Camboriú	17	27	48.63333333	9
1B	124	São José	42	27.6019444	48.61972222	2
	248	Laguna	28	28.48333333	48.8	30.89
2A	191	Ituporanga	25	27.41861111	49.64611111	475
2B	434	Urussanga	30	28.53194444	49.31472222	48
2C	477	Itapiranga	21	27.17944444	53.64527778	200
3A	60	Caçador	24	26.8186111	50.985	960
	442	Videira	33	27.02416667	51.14888889	774
	469	Campos Novos	25	27.38333333	51.21555556	964.23
	507	Curitibanos	17	27.2880555	50.60388889	1016
3B	515	Major Vieira	20	26.36472222	50.33694444	765
	302	Porto União	28	26.23333333	51.06666667	778.04
	205	Irineópolis	18	26.25	50.8	778.79
3C	585	Ponte Serrada	21	26.92027778	51.9275	1100
	108	Chapecó	37	27.0905555	52.63388889	679
	361	São Miguel d'Oeste	23	26.77611111	53.50388889	700
4A	230	Lages	50	27.8075	50.32888889	937.73
4B	582	Matos Costa	16	26.47694444	51.14861111	1200
5	352	São Joaquim	27	28.27527778	49.93416667	1376

5.2 Preenchimento de falhas

Nas estações com falhas, foram utilizados dados meteorológicos de estações automáticas das referentes localidades para o preenchimento, desde que houvesse com esses registros os 24 horários do dia de interesse. Foram extraídos o valor mínimo e máximo da temperatura, a média da UR e velocidade do vento a 10 metros de altura.

Comparando dados diários de radiação solar global, temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa e chuva, obtidos concomitantemente por uma estação convencional e uma automática, Sentelhas et al. (1997) verificaram que apesar de algumas discrepâncias observadas, devidas às diferenças na precisão dos sensores e frequência de amostragem no cálculo das médias, houve boa concordância entre os elementos observados pelas duas estações.

Na ausência dos 24 registros horários, o preenchimento foi realizado fazendo-se a média dos três dias anteriores.

Tendo falhas diárias de insolação, a radiação da estação automática foi estimada através da fórmula proposta em 1924, por Angstrom, e mais tarde modificada por Prescott:

$$Rad = Q_0 * (0,28 + (0,44 * \frac{n}{N})) \quad (1)$$

onde:

Rad = Radiação em cal/cm² dia da estação automática.

Q₀= Radiação solar diária no topo da atmosfera (cal/cm² dia)

n = Insolação (horas) da estação convencional.

N = Fotoperíodo (horas) do 15^o dia do mês, tabelado conforme a latitude da estação.

Allen et al.(1998) descrevem que para contornar o problema de ausência de dados de radiação solar, velocidade do vento e umidade do ar, necessários ao cálculo da ETo pelo método PM-FAO, há basicamente dois modos de

procedimentos: importação de dados de uma estação que está sob as mesmas condições climáticas ou a estimativa a partir de dados de temperaturas máxima e mínima.

5.3 Métodos de estimativas da ETo

5.3.1 Método de Thornthwaite

Este foi um dos primeiros métodos desenvolvidos exclusivamente para se estimar a evapotranspiração de referência (Thornthwaite, 1948). O método de Thornthwaite estima a evapotranspiração de referência mensal (ETo), considerando como padrão 30 dias em um mês e doze horas de insolação diária.

O método de Thornthwaite requer como dados de entrada a temperatura média de cada mês, conforme a equação:

$$ET_o = 16 \left(\frac{10.T_i}{I} \right)^a \quad (2)$$

T_i é a temperatura média mensal do mês i ($^{\circ}\text{C}$); I é o índice de calor da região; a é o coeficiente, também relacionado à temperatura.

O índice de calor foi calculado pela Equação:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad (3)$$

Já o coeficiente a foi estimado segundo:

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

Por fim, realizou-se a correção da ETP para cada mês, em função do número total de dias e horas de insolação diária:

$$ETP_{\text{corrigido}} = ETP \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{ND}{30} \quad (5)$$

em que, $ETP_{\text{corrigida}}$ é a evapotranspiração potencial ajustada (mm/mês); ETP é a evapotranspiração potencial calculada previamente (mm/mês); N é o fotoperíodo médio mensal, (normalmente assume-se que o 15º dia representa a média mensal); ND é o número de dias respectivo mês.

5.3.2 Método de Penman-Monteith (Padão FAO – 1998):

Este é um método micrometeorológico, descrito por Monteith (1965), que foi adaptado por Allen et al. (1989) para estimativa da evapotranspiração de referencia (ET_o) na escala diária. Atualmente, este é o método padrão da FAO (Allen et al. 1998), sendo ET_o (mm.d⁻¹) dada pela seguinte fórmula:

$$ET_o = \frac{0,4085 \cdot S \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{S + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (6)$$

onde:

S – gradiente da curva pressão vapor vs temperatura, (kPa °C⁻¹)

R_n – radiação solar líquida disponível, (MJ.m⁻².d⁻¹)

G – fluxo de calor no solo, (MJ.m⁻².d⁻¹)

γ – 0,063 é a constante psicrométrica, (kPa °C⁻¹)

u_2 – velocidade do vento a 2 m, (m.s⁻¹)

e_s – pressão de saturação do vapor de água atmosférico, (kPa)

e_a – pressão atual do vapor de água atmosférico, (kPa)

T_a – temperatura média diária do ar, (°C).

5.4 Metodologias estatísticas

O método de Regressão Linear foi utilizado para analisar a correlação existente entre a ETo estimada pelos dois métodos na escala decendial e mensal e na análise de sensibilidade. Concomitantemente foram obtidas a equação de regressão linear e a estimativa do erro padrão (EEP). O teste F foi utilizado para verificar a existência de regressão linear aos níveis de 5% e 1% de significância. O teste F é um teste de hipóteses utilizado para verificar se há diferença entre variâncias populacionais.

Para averiguar a sensibilidade da ETo estimada por PM na escala mensal foi realizado, primeiramente, a regressão linear múltipla da ETo (variável dependente y) com os elementos meteorológicos temperatura, umidade relativa, insolação e velocidade do vento (variáveis independentes). Após foi aplicado a regressão linear simples da ETo (PM) com cada uma das quatro referidas variáveis meteorológicas, obtendo-se a equação para a estimativa da ETo com a variável meteorológica com melhor correlação.

Para analisar quais médias decendiais da ETo (PM) são consideradas diferentes de outras, estando localizadas numa mesma região climática (Figura 1), foi utilizado o método de Tukey, considerando que todas as amostras das estações tem tamanhos iguais ($n=36$).

Como desejamos comparar “ k ” amostras (estações) de n elementos cada, o procedimento de Tukey recomenda considerar distintas as médias

\bar{x}_l e \bar{x}_m , tais que:

$$\left| \bar{x}_l - \bar{x}_m \right| > q_{k,v,\alpha} \sqrt{\frac{S_R^2}{n}} \quad (7)$$

Onde q é o valor crítico tabelado para um nível de significância (α) desejado e $v=k(n-1)$. S_R^2 é a estimativa residual.

5.5 Ferramentas computacionais

O programa Sisagro II (Sistema de Agrometeorologia para Computador), desenvolvido na EPAGRI-CIRAM, foi utilizado para a estimativa da ETo pelos métodos de PM (Figura 2) e de Thornthwaite (Figura 3). Para o cálculo da ETo por PM, o programa converteu a velocidade do vento de 10 para 2 metros de altura e estimou a radiação solar a partir da insolação.

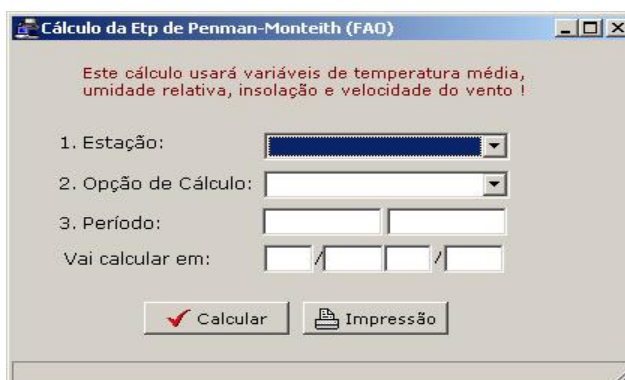


Figura 2 - Programa Sisagro II para a estimativa da ETo por PM.

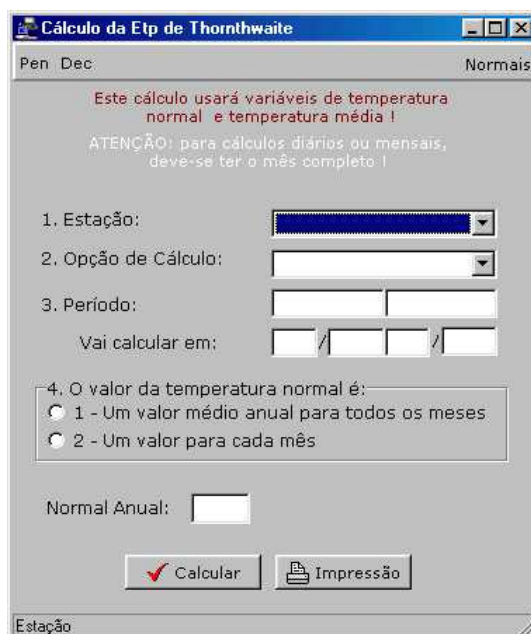


Figura 3 - Programa Sisagro II para a estimativa da ETo por Thornthwaite.

Para a resolução das metodologias estatísticas descritas no item 5.4, foram utilizados os softwares Statística 8.0 e SSP (Smith's Statistical Package).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Correlação entre os métodos Penman-Monteith e Thornthwaite

As correlações entre ETo estimada por PM (variável dependente y) e por Thornthwaite (variável independente x) mostram altos valores, na escala decendial (Tabela 2) e na mensal (Tabela 3) em todas as estações analisadas. Além dos coeficientes de correlação (R), consta nas referidas Tabelas, o valor do F calculado para averiguar a significância da regressão, a equação da regressão e a sua estimativa de erro padrão (EEP).

Os coeficientes de correlação na análise decendial resultaram de um mínimo de 0,94 para Laguna a um máximo de 0,99 para Videira, Urussanga, São Miguel d'Oeste e Campos Novos. Todos foram estatisticamente significativos ao nível de 1%, conforme comprovado pelos altos valores de F em relação ao seu valor tabelado (F crítico) de 7,44 para 36 dados.

O mesmo raciocínio é aplicado na análise mensal para o F crítico de 10,03. Na análise mensal as correlações máximas foram de 0,97, sendo que em algumas localidades os métodos de estimativa se correlacionam melhor na análise decendial.

Diante desses resultados, a ETo por Thornthwaite pode ser utilizado para estimativa de ETo na escala mensal e decendial para estas condições.

Tabela 2 - Parâmetros da equação de regressão, como coeficiente correlação (R), estimativa de erro padrão (EEP) e teste F para as 22 estações de Santa Catarina, na escala decendial.

Estação	R	Equação	F	EEP
Blumenau	0,96	$y=6,533+0,989x$	428,68	2,144
Caçador	0,96	$y=5,515+1,068x$	460,66	2,637
Camboriú	0,96	$y=4,686+0,838x$	440,49	2,155
Campos Novos	0,99	$y=0,802+1,022x$	21441,64	0,423
Chapecó	0,97	$y=6,707+1,024x$	596,72	2,593
Curitibanos	0,95	$y=6,631+1,059x$	365,50	2,901
São José	0,95	$y=8,031+0,862x$	375,165	3,031
Indaial	0,97	$y=6,998+0,772x$	536,034	2,341
Irineópolis	0,97	$y=4,832+0,953x$	597,114	2,110
Itajaí	0,97	$y=6,553+0,836x$	576,662	2,412
Itapiranga	0,97	$y=6,728+0,925x$	503,234	3,271
Ituporanga	0,97	$y=5,306+0,929x$	513,824	2,610
Lages	0,97	$y=3,453+1,118x$	559,843	2,498
Laguna	0,94	$y=6,162+0,929x$	265,035	3,431
Major Vieira	0,97	$y=5,506+0,941x$	500,919	2,352
Matos Costa	0,95	$y=5,216+1,083x$	314,897	2,808
Ponte Serrada	0,95	$y=5,928+1,120x$	342,374	3,037
Porto União	0,97	$y=5,085+0,905x$	567,849	2,215
São Joaquim	0,95	$y=3,829+1,099x$	323,218	2,539
São Miguel d' Oeste	0,99	$y=0,863+1,043x$	11128,51	0,605
Urussanga	0,99	$y=2,471+0,965x$	2130,26	1,274
Videira	0,99	$y=0,607+1,005x$	58931,15	0,257

F crítico para 36 dados e $\alpha=1\%$: 7,44

Tabela 3 - Parâmetros da equação de regressão, como o coeficiente de correlação (R), estimativa de erro padrão (EEP), teste F para 22 estações de Santa Catarina, na escala mensal.

Estação	R	Equação	F	EEP
Blumenau	0,96	$y=20,482+0,982x$	125,290	6,622
Caçador	0,96	$y=17,316+1,072x$	125,222	8,536
Camboriú	0,96	$y=20,225+0,828x$	138,270	7,538
Campos Novos	0,96	$y=18,792+1,208x$	124,289	9,036
Chapecó	0,97	$y=21,410+1,014x$	179,360	8,032
Curitibanos	0,96	$y=20,807+1,051x$	116,936	8,701
São José	0,96	$y=24,707+0,858x$	111,128	9,431
Indaial	0,97	$y=20,902+0,775x$	174,415	7,039
Irineópolis	0,97	$y=14,630+0,995x$	179,127	6,560
Itajaí	0,97	$y=20,111+0,834x$	180,962	7,332
Itapiranga	0,97	$y=21,117+0,919x$	158,476	9,953
Ituporanga	0,97	$y=16,883+0,924x$	161,488	7,928
Lages	0,97	$y=10,948+1,114x$	167,400	7,761
Laguna	0,94	$y=18,794+0,919x$	78,850	10,690
Major Vieira	0,97	$y=16,739+0,941x$	154,987	7,220
Matos Costa	0,95	$y=16,487+1,075x$	101,580	8,372
Ponte Serrada	0,96	$y=18,708+1,111x$	106,724	9,226
Porto União	0,97	$y=15,524+0,905x$	171,554	6,865
São Joaquim	0,95	$y=12,413+1,087x$	105,589	7,520
São Miguel d' Oeste	0,95	$y=31,024+0,941x$	90,345	10,699
Urussanga	0,95	$y=21,837+0,816x$	102,381	9,468
Videira	0,97	$y=14,790+1,032x$	179,114	7,728

F crítico para 12 dados: 10,03

A estimativa pelo método de Thornthwaite foi comparada com o método de Penman-Monteith, pelo fato deste último ser bastante utilizado atualmente devido à sua maior confiabilidade, principalmente em escalas menores que a mensal. É possível observar no gráfico de dispersão (Figura 4) a alta correlação da ETo referente a todas as estações entre os dois métodos.

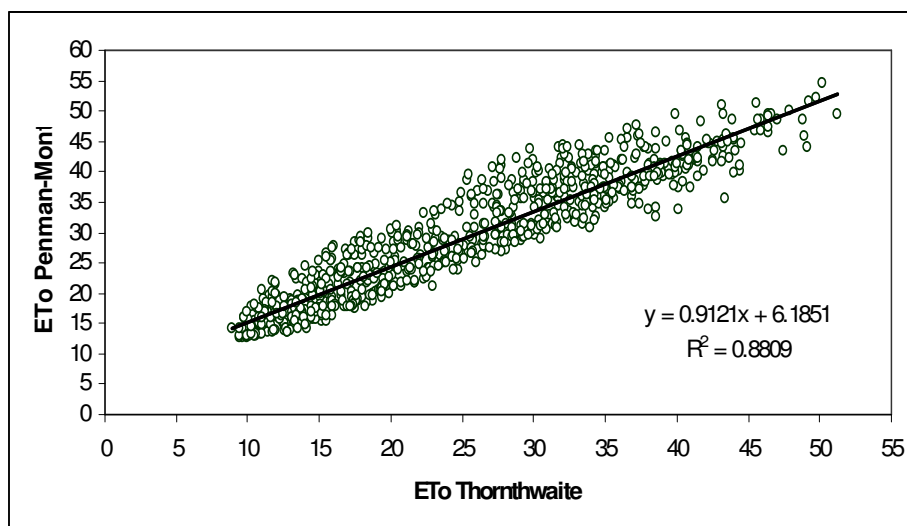


Figura 4 - Gráfico de dispersão da correlação entre o método Penman-Monteith e Thornthwaite na escala decencial.

Os resultados encontrados estão de acordo com outras aplicações tais como as de Conceição e Marin (2005) que compararam sete métodos com base na temperatura do ar ao método de Penman-Monteith da FAO, para a região do baixo Rio Grande, noroeste do Estado de São Paulo. Entre os métodos avaliados, o de Thornthwaite foi um dos que apresentou melhor desempenho para estimativa mensal da evapotranspiração de referência.

Barreto (2006) estimou a evapotranspiração na escala mensal pelo método de Penman-Monteith FAO-56 e comparou com outros métodos, entre eles o de Thornthwaite (1948), com base em dados da estação meteorológica localizada no município de Brotas. A ETo estimada por ambos os métodos pouco diferiram entre si.

Segundo Smith (1991) a FAO recomenda que os métodos empíricos de estimativas da ETo, sejam calibrados e validados para outras regiões, sendo a equação de Penman-Monteith a referência padrão para esses ajustes.

6.2 Análise de sensibilidade

Na análise de sensibilidade verificou-se o grau de influência das quatro principais variáveis meteorológicas determinantes na ETo influentes nos processos de Penman-Monteith. As variáveis são um dos principais fatores de evaporação e evapotranspiração, incluindo radiação solar, temperatura, velocidade do vento e a umidade relativa do ar. Necessita-se de energia para mudar o estado físico da água e esta é fornecida pela radiação solar e em menor grau pela temperatura do ar. A velocidade do vento faz com que o ar úmido seja deslocado e substituído por ar fresco e seco, para manter o processo de evapotranspiração. O grau de umidade do ar exerce influência sobre a taxa de ET por ser a variável que determina a capacidade do ar de conservar a umidade. Deve haver um gradiente de pressão evaporífica entre a superfície onde ocorre a ET e o ar sobre ela, já que a evaporação somente pode ocorrer se a pressão do vapor na superfície for maior que a do ar acima dela (AYOADE, 2010).

A regressão linear múltipla (Tabela 4) foi realizada correlacionando a ETo (PM) (mensal) como variável dependente, com quatro variáveis independentes, sendo a temperatura (x_1), umidade relativa (x_2), insolação (x_3) e velocidade do vento (x_4). Os resultados foram unânimes em indicar fortes correlações da ETo com as citadas variáveis meteorológicas.

Tabela 4 - Coeficiente de correlação (R), entre ETo e quatro variáveis meteorológicas com a equação de regressão múltipla, teste F e o erro de estimativa padrão (EEP).

Estação	R	Equação	F	EEP
Blumenal	0,98	$y=16,645 + 8,496x_1 - 1,880x_2 - 2,878x_3 + 28,429x_4$	51,280	5,288
Caçador	0,99	$y=-373,731 + 7,341x_1 + 1,609x_2 + 12,858x_3 + 79,219x_4$	96,241	5,014
Camboriú	0,99	$y=308,149 + 5,935x_1 - 3,952x_2 - 3,764x_3 + 14,805x_4$	80,826	5,050
Campos Novos	0,99	$y=-51,292 + 6,342x_1 - 1,169x_2 + 10,279x_3 + 21,194x_4$	83,206	5,680
Chapecó	0,98	$y=79,596 + 8,004x_1 - 2,533x_2 + 3,772x_3 + 14,102x_4$	70,778	6,489
Curitibanos	0,99	$y=281,872 + 7,836x_1 - 4,244x_2 - 2,885x_3 + 6,213x_4$	64,052	6,043
São José	0,99	$y=13,660 + 5,238x_1 - 1,667x_2 + 5,189x_3 + 25,278x_4$	83,301	5,627
Indaial	0,99	$y=273,605 + 6,190x_1 - 4,148x_2 - 7,981x_3 + 51,523x_4$	84,516	5,146
Irineópolis	0,99	$y=61,928 + 5,250x_1 - 1,756x_2 + 2,993x_3 + 57,159x_4$	160,972	3,536
Itajaí	0,99	$y=-84,564 + 5,028x_1 - 0,872x_2 + 4,225x_3 + 66,539x_4$	67,593	6,083
Itapiranga	0,98	$y=-212,326 + 4,817x_1 + 0,434x_2 + 16,327x_3 + 44,711x_4$	49,053	9,062
Ituporanga	0,99	$y=779,258 + 3,634x_1 - 8,455x_2 - 9,286x_3 - 21,308x_4$	80,637	5,719
Lages	0,99	$y=-84,666 + 4,706x_1 - 0,504x_2 + 10,793x_3 + 42,951x_4$	203,193	3,610
Laguna	0,98	$y=45,807 + 6,037x_1 - 2,819x_2 + 9,465x_3 + 40,174x_4$	50,736	6,954
Major Vieira	0,99	$y=-165,685 + 4,925x_1 + 0,742x_2 + 9,466x_3 + 43,402x_4$	97,575	4,652
Matos Costa	0,98	$y=106,961 + 8,472x_1 - 2,885x_2 - 2,299x_3 + 10,645x_4$	58,418	6,088
Ponte Serrada	0,98	$y=-112,114 + 8,841x_1 - 0,796x_2 + 8,289x_3 + 28,448x_4$	48,266	7,047
Porto União	0,99	$y=86,224 + 4,346x_1 - 1,704x_2 + 5,924x_3 + 27,012x_4$	224,682	3,073
São Joaquim	0,99	$y=-189,481 + 8,500x_1 - 0,060x_2 + 10,587x_3 + 36,641x_4$	64,444	4,969
São Miguel				
Oeste	0,98	$y=48,065 + 8,018x_1 - 2,166x_2 + 3,439x_3 + 11,092x_4$	63,611	6,628
Urussanga	0,99	$y=475,529 + 6,190x_1 - 5,610x_2 - 5,534x_3 - 13,905x_4$	113,627	4,672
Videira	0,99	$y=357,496 + 6,225x_1 - 4,529x_2 - 1,397x_3 - 35,289x_4$	142,453	4,425

F crítico para 36 dados a $\alpha=1\%$: 7,44

Com a regressão simples foi possível verificar a correlação de cada variável meteorológica com a ETo (PM), conforme pode ser observado na Tabela 5. A que apresentou um maior valor foi considerada de maior influência na ETo de cada estação.

Tabela 5 - Correlação da ETo por Penman-Monteith com as variáveis meteorológicas: temperatura (T), umidade relativa (UR), insolação (Ins), velocidade do vento (VV), equação de regressão, teste F e erro de estimativa padrão (EEP).

Regiões	Estação	T	UR	Ins	VV	Equação	F	EEP
Coeficiente de correlação (R)								
1A	Blumenau	0,91*	0,50 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,73*	$y = -87,115 + 9,442.T$	49,211	10,010
	Camboriú	0,93*	0,88*	0,05 ^{NS}	0,70**	$y = -70,347 + 7,873.T$	69,768	10,277
	Indaial	0,94*	0,91*	0,53**	0,80*	$y = -79,210 + 7,976.T$	81,075	10,017
	Itajaí	0,93*	0,88*	0,68**	0,81*	$y = -79,729 + 8,252.T$	71,732	11,207
1B	São José	0,91*	0,86*	0,63**	0,79*	$y = -83,878 + 8,728.T$	50,007	13,400
	Laguna	0,87*	0,71*	0,72*	0,44 ^{NS}	$y = -83,703 + 8,747.T$	32,607	15,438
2A	Ituporanga	0,94*	0,95*	0,84*	0,62**	$y = 769,013 - 8,537.UR$	92,448	10,258
2B	Urussanga	0,92*	0,74*	0,68**	0,34 ^{NS}	$y = -63,753 + 7,606.T$	58,792	12,102
2C	Itapiranga	0,94*	0,64**	0,95*	0,47 ^{NS}	$y = -106,001 + 32,057.Ins$	92,105	12,785
3A	Caçador	0,93*	0,58**	0,70**	0,22 ^{NS}	$y = -45,976 + 8,079.T$	71,114	11,022
	Videira	0,95*	0,77*	0,92*	0,31 ^{NS}	$y = -55,199 + 8,189.T$	92,192	10,513
	Campos Novos	0,92*	0,74*	0,88*	0,22 ^{NS}	$y = -51,728 + 8,697.T$	60,832	12,441
	Curitibanos	0,92*	0,51 ^{NS}	0,76*	0,28 ^{NS}	$y = -42,658 + 8,020.T$	55,402	12,123
3B	Major Vieira	0,94*	0,66**	0,71*	0,77*	$y = -43,824 + 7,272.T$	75,885	10,007
	Porto União	0,95*	0,92*	0,94*	0,75*	$y = -49,593 + 7,285.T$	89,197	9,288
	Irineópolis	0,94*	0,83*	0,91*	0,66**	$y = -40,207 + 0,750.T$	91,121	8,972
3C	Ponte Serrada	0,92*	0,16 ^{NS}	0,91*	0,47 ^{NS}	$y = -52,625 + 8,666.T$	55,602	12,308
	Chapecó	0,95*	0,62**	0,92*	0,50 ^{NS}	$y = -79,308 + 9,316.T$	93,280	10,876
	São M. Oeste	0,91*	0,46 ^{NS}	0,94*	0,33 ^{NS}	$y = -57,081 + 23,215.Ins$	84,272	11,038
4A	Lages	0,93*	0,94*	0,88*	0,65**	$y = 755,876 - 8,392.UR$	73,047	11,343
4B	Matos Costa	0,91*	0,44 ^{NS}	0,74**	0,05 ^{NS}	$y = -37,395 + 7,697.T$	58,816	11,328
5	São Joaquim	0,90*	0,14 ^{NS}	0,87*	0,36 ^{NS}	$y = -24,921 + 7,462.T$	43,780	11,025

* Significativo a 1%

** Significativo a 5%

NS Não-significativo

Num contexto geral, a temperatura é a variável meteorológica mais influente na ETo (PM), com exceção de Ituporanga, Itapiranga, São Miguel d'Oeste e Lages. Esta se apresenta significativa a 1% em todas as estações. Mesmo nessas exceções, os coeficientes de correlação da ETo com a temperatura foram altos e próximos aos obtidos para as variáveis meteorológicas melhor correlacionados com a ETo, como a UR em Lages (0,94) e Ituporanga (0,95), e com a insolação em Itapiranga (0,95) e São Miguel d'Oeste (0,94).

Isso difere de muitos estudos sobre evapotranspiração, onde a radiação solar foi a que teve maior influência, como no estudo de Amatya et al. (1992) citado por Vanzela et al., (2007) realizado na Carolina do Norte (EUA).

As menores correlações envolvendo a insolação estão em municípios da região 1A, destacando Camboriú, seguido de Blumenau e Indaial. Observa-se que estes municípios estão localizados no Médio e Baixo Vale do Itajaí onde a nebulosidade é grande em razão da umidade marítima que, juntamente com o relevo da região favorece a formação de nuvens.

A pequena correlação da umidade relativa do ar em São Joaquim pode estar associada à alta altitude e baixa temperatura, assim como Ponte Serrada. Falcão et. al. (2010) relata o efeito que a umidade relativa do ar sofre por ser influenciada por algumas importantes variáveis meteorológicas como a temperatura, mesmo que não ocorra aumento ou diminuição em seu conteúdo de umidade. Ou seja, esta é inversamente proporcional ao ponto de saturação e a temperatura. A umidade está geralmente concentrada nas baixas camadas da atmosfera (nos primeiros 2.000 metros de altitude) e à medida que a altitude aumenta, ocorre uma diminuição da umidade.

A velocidade do vento foi a variável com as menores correlações com a ETo, indicando que esta apresentou menor influência quando comparado com os demais elementos. É possível observar que alguma das regiões, por exemplo, a 3A (Caçador, Videira, Campos Novos e Curitibanos) e 3C (Ponte Serrada, Chapecó e São Miguel d'Oeste) tiveram correlações não significativas em relação a esta variável. Uma hipótese para tal comportamento deve-se ao

fato que a velocidade do vento, no nível analisado, é diretamente afetada pelas condições de relevo predominante da superfície terrestre, e devido possivelmente ao efeito continentalidade e grande variabilidade da rugosidade da superfície (relevo acidentado). Esses fatores atuam geograficamente como atenuadores da velocidade do vento quando comparado com outras regiões, sobretudo as litorâneas, como é o caso da região 1^a conforme resultado encontrado nesse estudo, onde áreas contíguas oceano/continente tornam o efeito do vento mais evidenciado (SILVEIRA e ANDRADE, 2002).

Allen et al. (1998) afirmam que em regiões de clima úmido a presença de nuvens tornam a taxa de ETo mais baixa, condição em que o vento substitui o ar úmido saturado pelo ar não-saturado e, conseqüentemente, remove energia em forma de calor latente; assim, a velocidade do vento afeta a taxa de evapotranspiração em escala menor do que sob condições áridas, em que pequenas variações na velocidade do vento podem resultar em variações maiores na taxa de ETo.

É difícil separar a ação das variáveis meteorológicas, pois as mesmas agem simultaneamente e se interrelacionam. Assim, de maneira geral, para uma dada região, quanto maior for a energia solar, temperatura do ar e velocidade do vento, e quanto menor for a umidade relativa do ar, maior deverá ser a taxa de evapotranspiração de referência (VILA NOVA, 1987).

6.3 Método de Tukey

Para as regiões 1A, 1B, 3A, 3B, 3C nas quais estão inseridas mais de uma estação meteorológica, foram analisadas pelo método de Tukey para observar quais médias decendiais da ETo (PM) se diferenciam de outras, estando localizadas numa mesma região climática. Os resultados na Tabela 6 mostram que a média decendial de todas as estações da mesma região climática não diferiram estatisticamente entre si, indicando que a ETo (PM) obtida em um ponto, pode ser aplicado em qualquer outro ponto, desde que estejam na mesma região climática.

Tabela 6 - Aplicação do método de Tukey para as médias decendiais da ETo estimada por Penmam-Monteith (PM) para as 22 estações meteorológicas agrupadas pelas regiões climáticas.

Regiões	Código da estação	Nome Estação	Série (anos)	Média ETo (PM)
1A	167	Indaial	17	28,73A
	183	Itajaí	27	29,70A
	34	Blumenau	18	30,84A
	78	Camboriú	17	28,22A
1B	124	São José	42	32,02A
	248	Laguna	28	30,17A
2A	191	Ituporanga	25	27,85
2B	434	Urussanga	30	28,63
2C	477	Itapiranga	21	32,58
3A	60	Caçador	24	28,89A
	442	Videira	33	28,50A
	469	Campos Novos	25	30,86A
	507	Curitibanos	17	29,82A
3B	515	Major Vieira	20	26,75A
	302	Porto União	28	26,03A
	205	Irineópolis	18	25,59A
3C	585	Ponte Serrada	21	30,63A
	108	Chapecó	37	32,58A
	361	São Miguel d'Oeste	23	34,62A
4A	230	Lages	50	27,34
4B	582	Matos Costa	16	28,00
5	352	São Joaquim	27	24,81

Médias seguidas pela a letra A não diferem entre si a 5% pelo método Tukey.

7. CONCLUSÃO

- As altas e significativas correlações entre a ETo estimadas pelos métodos de PM e TH, na escala decendial e mensal, possibilitam estimar aquela, apenas com dados de temperatura do ar.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.112, n.4, p.348-368, 1986.

ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L. **Operational estimates of reference evapotranspiration**. *Agronomy Journal*, Madison, v.81, n.4, p.650-662, 1989.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop e evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 297p (FAO Irrigation and Drainage Paper,56), 1998.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os trópicos**. 13^aed. Rio de Janeiro: Bertrand, 332p, 2010.

BARRETO, C.E.A.G. **Balço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. São Paulo, SP: USP, 249f. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2006.

BASTOS, T. X. **Sistema de produção da pimenteira-do-reino**. Embrapa Amazonia Oriental, Sistema de Produção, 01 ISSN 1809-4325, Versão eletrônica, 2005.

BERNARDO, S.; SOUSA, E.F.; CARVALHO, J.A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), para as “áreas de baixada e de tabuleiros” da região Norte Fluminense**. Campos dos Goytacazes: UENF, 1996. 14 p. Boletim Técnico.

BORGES, A. C.; MEDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.293–300, 2007.

BRAGA, H. J., GHELLRE, R. Proposta de diferenciação climática para o Estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis., **Anais...Florianópolis, SC...**, S.B.Agro, 1999. CD-Rom.

CAMARGO, A. P. **Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo.** *Bragantia*, Campinas, v.21, p.163-203, 1962.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. **Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial.** Artigo de Revisão. *Bragantia*, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CARPANEZZI, A. A. et al. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina.** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 103 p. (Documento 21).

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MARIN, F. R. Estimativa da radiação solar incidente com base na amplitude térmica diária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas, SP., UNICAMP, 2005.

COUTO, L.; SANS, L.M.A. **Requerimento de água das culturas.** Sete Lagoas: Embrapa/CNPMS, 2002. (Circular técnica, 22).

DAMALGO, G. A.; HELDWEIN, A. B.; NIED, A. H.; GRIMM, E.L.; PIVETTA, C. R. Evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Revista Cienc. Rural** vol.36 n.3 Santa Maria, 2006.

DANTAS, R.T. Determinação da Constante Térmica (R), na Estimativa da Evapotranspiração Máxima do Arroz (*Oryza sativa* L). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14, 1995, Campina Grande, **Anais...** Campina Grande, SP., S.B.Agro, 1995, p.102-105.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Crop water requirement.** Rome: FAO, 1977. 144p. FAO Irrigation and Drainage Paper 24.

EPAGRI – Empresa de pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Florianópolis. Acessado 18/11/2010, disponível em: <http://cepa.epagri.sc.gov.br>.

FALCÃO, R. M. ; GALVANI, E. ; LIMA, N. G. B. ; Cruz, B.R.P. . **Análise da variação da umidade relativa do ar no Pico da Bandeira, Parque Nacional do Alto Caparaó, Brasil.** SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 4, 2010, Coimbra, 2010. v. 1. p. 1-10.

FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. M.; CHIBANA, E. Y. **Construção e calibração de lisímetros de alta precisão.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.1, p.237–242, 2006.

FILHO, C. L. O. **Prognóstico das variáveis meteorológicas e da evapotranspiração de referência com o modelo de previsão do tempo GFS/NCEP.** Piracicaba, SP: ESALQ, 2007. Dissertação (mestrado). Escola superior Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2007.

FILHO, A. C.; MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. T.; SILVA, B. P. Tamanho de amostra para a estimativa das médias decendiais de radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. Ciêncagrotec. vol.31 no.5 Lavras, 2007

GALVÃO, J. H. C.; FISCH, G. Balanço de Radiação em área de pastagem na Amazônia, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, nº1, 2000, pp. 1-10.

GIACOMONI, H.M. **Estimativa da evapotranspiração regional por meio de técnicas de sensoriamento remoto integradas a modelos de balanço de energia: aplicação no estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, RS: URS, 2005, 172 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

HENRIQUE, F. de A. N. **Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande.** Campina Grande – PB, 2006, 107f. Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

JACOBS, J. M. **Evaluation of reference evapotranspiration of methodologies and AFSIRS crop water use simulation model.** University of Florida Gainesville, Florida, 2001. 122p.

LIMA, A.S.F.F. **Comparação de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial para o município de Ribeirão Preto - SP.** Piracicaba, SP: ESALQ, 1991. 169 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

LIMA, E. P. **Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, padrão FAO (1998), a partir de dados de temperaturas máxima e mínima de Minas**

Gerais. Viçosa, MG, 2005, 67f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

MASSIGNAM, A.M.; PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; PEREIRA, E.S. Variabilidade e probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas decendiais do ar no Estado de Santa Catarina.Lages-SC, **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.4, n.2, p. 109-119, 2005.

MALTEZ, H. T.; MALTEZ, M. G. L.; BASTOS, T. X.; DINIZ, T. D. de A. S. Avaliação da evapotranspiração potencial a região de Belém-Pará. Simpósio do Trópico Úmido 1. Belém. **Anais...Embrapa-Cpatu**, 1986, p. 56-57. n. 36.

MENDONÇA, E. A. **Estimativa de evapotranspiração de referência no município de Capim – PB.** Campina Grande, PB: UFCG, 2008, 114f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

MEDEIROS, P. V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatísticos de estimativa de nove equações empíricas com base na equação de Penman-Monteith.** São Carlos, SP: UFSCAR, 2008, 241f, Dissertação (mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

MENEZES, E.A.; DANTAS, R. T.; LIMA, J. A. Análise dos coeficientes de regressão múltipla para a extrapolação da estimativa da irradiação solar global em localidades distintas no estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, Santa Maria – RS, p.747 – 748, 2003.

MIRA, T.A.A.F.B. **Contribuição ao clima catarinense - O balanço hídrico.** Departamento de Geociências, UFSC, Florianópolis. 1994: 98p. (Tese de Livre Decência).

OLIVEIRA, A.D, VOLPE, C.A. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando dados de estação meteorológicas convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.253-260,2003.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open Water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London, 193: 12-145, 1948.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Ed. Agropecuária, 478 p. 2002.

PEREIRA, A. R., NOVA, N. A. V., SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP. Editora FAELQ, 183p. 1997.

POZZEBON, E. J.; CUNHA, P.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, L. M. C. Procedimentos para pedidos de outorga de direito de uso da água para irrigação. In: Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo, 2003. **Anais...** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. CD Rom.

RIGHI, E. Z.; SILVA, K. L.; BARBIERI, V. **A importância da temperatura do ar na estimativa de evapotranspiração por métodos simplificados e graus-dia**: relações sazonais e anuais entre temperatura, radiação global e radiação líquida. ESALQ/USP, Piracicaba - São Paulo, 1997. 5p.

SENTELHAS, P.C.; MORAES, S.O.; PIEDADE, S.M.S.; PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; MARIN, F.R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.2, p.215-221, 1997.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria,v.4,n.1. p.1-12. 1996.

SILVA, B. B., MOURA, M. S. B., FEITOSA, J. R., GALVINCIO, J. D. & COSTA FILHO, J. F., Balanço de Radiação no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e Imagens LANDSAT5 - TM., In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, **Anais...**, Foz do Iguaçu, 2002.

SILVA, L.L. da; MENEZES, H. E. A.; LIMEIRA, R.C.; SILVA, A. D. da; DANTAS, R. T.; Comparação da transmissividade e atenuação atmosférica entre Campina Grande e João Pessoa no estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14, 2005, Campinas, **Anais...** Campinas-SP, Meteorologia e climatologia, 2005, p.169-170.

SILVEIRA, S. S.; ANDRADE, E. M. **Análise de componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração**. Engenharia Agrícola, v.22, n.2, p.171- 177, 2002.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Rome FAO. 45p. 1991.

TEIXEIRA, P.R.; CERQUEIRA, R.C.C.M.; SOUSA, W.J. de; BORBA, J.C.C.; SÁ, M.O.; QUERINO, C.A.S.; MEIXNER, F. X.; MOURA, M.A.L. Estudo comparativo dos componentes do balanço de radiação para um dia de céu claro e outro de céu parcialmente nublado na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2004, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza-CE, 2004, p. 698-707.

THORNTON, C.W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, 38: 55-94, 1948.

THORNTON, P.E.; RUNNING, S.W. **na improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation.** Agric. Forest. Meteorol., v.93, p.211-228, 1999.

TUBELIS, A; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva:** fundamentos e aplicações brasileiras. Nobel, São Paulo, 1980. 374p.

VALANDRO, J. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com a radiação solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1999.

VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; FERREIRA, E.J.S. Desempenho da estimativa da evapotranspiração de referência em Ilha Solteira-SP. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 23, Bonito, 2007. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007. 108p.

VILLA NOVA, N. A. **Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação.** Piracicaba. ESALQ/ Departamento de Física e Meteorologia, 22p. 1987.

