

HENRIQUE FARIA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DA
CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM JAÍBA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

O48a
2010

Oliveira, Henrique Faria de, 1985-

Avaliação de modelos de estimativa de produtividade da
cana-de-açúcar irrigada em Jaíba-MG / Henrique Faria de
Oliveira. – Viçosa, MG, 2010.

xiv, 96f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Everaldo Chartuni Mantovani.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 67-70.

1. Evapotranspiração. 2. Produtividade agrícola.
3. Cana-de-açúcar - Irrigação. 4. Cana-de-açúcar -
Rendimento. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

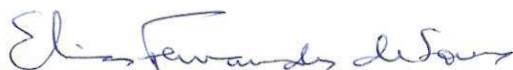
CDD 22. ed. 630.2515

HENRIQUE FARIA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DA
CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM JAÍBA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de outubro de 2010.



Elias Fernandes de Sousa



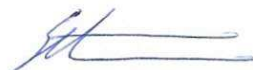
Gregório Guirado Faccioli



Rubens Alves de Oliveira



Gilberto Chohaku Sedyama
(Coorientador)



Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

Aos meus pais
Alexandre Soares de Oliveira e
Selva Aparecida de Faria Oliveira,
toda minha gratidão e meu amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, pela saúde, pela determinação para realizar este trabalho e também por colocar as pessoas certas em meu caminho, pessoas que sempre me auxiliaram, não só neste trabalho, como em toda a vida.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o curso.

Aos meus pais, Alexandre Soares de Oliveira e Selva Aparecida de Faria Oliveira, e à minha irmã, Alessandra Faria de Oliveira, pelo amor, pelo apoio, pela solidariedade durante esta jornada e por sempre acreditarem em mim.

Ao professor e orientador Everardo Chartuni Mantovani, em especial, pela amizade, pelo companheirismo, pela orientação, pelo exemplo de pessoa e profissional que é e por acreditar em mim.

Aos meus coorientadores, professores Gilberto Chohaku Sedyama e Mauricio Bernardes Coelho, pelos conselhos e pelas contribuições na identificação e na correção de falhas durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todo corpo docente do curso de Meteorologia Agrícola pelos conhecimentos transmitidos por meio de suas disciplinas com profissionalismo e amizade e à secretária, Graça Freitas, pela dedicação e pela ajuda de sempre.

A todos os colegas da pós-graduação e Grupo GESAI, pela amizade, incentivo, horas de descontração, ajuda e contribuição para a realização deste trabalho. Em especial Rose Freitas, Augusto Júnior, Bruno Lopes, Bruno Batalha e Gustavo Haddad.

Aos amigos da Cientec, Renan Noé, Bruno Satler, Igor Guadalupe, Guilherme Carvalho e Michelle Teixeira pela amizade e, em especial, a Paulo Márcio e Alessandro Teixeira, pelo incentivo, confiança e amizade durante esta jornada, sem o apoio dos quais, nada disso seria possível.

Aos amigos Odilon Corrêa, Thiago Miranda e Rafael Rode, pela amizade, horas de descontração, ajuda, incentivo nos estudos e pelos conhecimentos adquiridos que foram utilizados neste trabalho.

A todos vocês, o meu sincero agradecimento.

BIOGRAFIA

HENRIQUE FARIA DE OLIVEIRA, filho de Alexandre Soares de Oliveira e Selva Aparecida de Faria Oliveira, nasceu em 12 de outubro de 1985, em Muriaé, Minas Gerais.

No ano de 2004, ingressou no curso de graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, na Faculdade Santa Marcelina, graduando-se em 2006.

Em agosto 2008, iniciou o curso de pós-graduação, em nível de mestrado, em Meteorologia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em 2010.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	viii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Função de produção	4
2.1.1. Modelos de função de produção	5
2.1.2. Modelos de simulação de crescimento das culturas	10
2.1.3. Irriplus.....	11
2.2. Cana-de-açúcar	12
2.2.1. A cultura	12
2.2.2. Histórico, aspectos econômicos e cenário atual.....	14
2.2.3. Aspectos climáticos	17
2.2.4. Necessidades hídricas.....	18
2.2.5. Manejo de irrigação	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. Descrição geral	21
3.2. Modelo de Stewart.....	21
3.2.1. Produtividade máxima da cultura (P_{max})	22
3.2.2. Método da zona agroecológica.....	23
3.2.3. Correção em função do desenvolvimento da cultura e área foliar..	23

3.2.4. Correção para produção de matéria seca (cN).....	24
3.2.5. Índice de colheita (cH).....	24
3.2.6. Fração do dia em que o sol fica encoberto por nuvens (F).....	25
3.2.7. Taxa de produção de matéria seca de folhas (ym).....	26
3.2.8. Coeficiente de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (Ky).....	27
3.2.9. Evapotranspiração máxima da cultura (ETm).....	28
3.2.10. Evapotranspiração da cultura (ETc)	31
3.3. Modelo de Mantovani.....	31
3.3.1. Produtividade máxima da cultura (P_{max})	32
3.3.2. Coeficiente de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (Ky).....	32
3.3.3. Coeficiente de déficit (Cd)	32
3.3.4. Fração da evapotranspiração máxima da cultura suprida por outras fontes de água diferentes da irrigação (p).....	35
3.4. Modelos por regressão linear múltipla	36
3.5. Localização da pesquisa e caracterização da área experimental.....	39
3.6. Avaliação dos modelos	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Modelo de Stewart.....	44
4.2. Modelo de Mantovani.....	52
4.3. Regressão linear múltipla.....	60
5. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICES	71
APÊNDICE A	72
APÊNDICE B	76

LISTA DE SÍMBOLOS

AD	Água disponível no solo
Cc	Capacidade de campo
Cd	Coeficiente de déficit
CF	Contribuição capilar do lençol freático
cH	Correção para a parte colhida
cL	Correção em função do desenvolvimento da cultura e área foliar
cN	Correção para a produção de matéria seca
CTA	Capacidade total de água no solo
CUC	Coeficiente de uniformidade de Christiansen
d_a	Densidade do solo
Ea	Eficiência de aplicação da irrigação
ERP	Erro relativo percentual
ETc	Total da evapotranspiração da cultura
ETm	Total da evapotranspiração máxima da cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
F	Fração do dia em que o sol fica encoberto por nuvens
f	Fator de disponibilidade de água no solo
F(x)	Função de distribuição acumulada assumida para os dados
G	Período total de crescimento
h	Altura da planta

H_0	Hipótese de nulidade
H_1	Hipótese alternativa
IRN	Irrigação real necessária
ITN	Irrigação total necessária
J	Dia do ano
K_c	Coefficiente de cultura
$K_{c_{tab}}$	Coefficiente de cultura tabelado
K_s	Coefficiente de estresse hídrico
K_y	Coefficiente de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico
LAA	Lâmina real de água no solo
L_b	Lâmina bruta aplicada na cultura durante seu ciclo fenológico
L_r	Lâmina requerida pela cultura durante seu ciclo fenológico
MAE	Erro médio absoluto
MS	Matéria seca total acumulada
MS_m	Produção máxima de matéria seca
MZA	Método da zona agroecológica
n	Número de observações
P	Produtividade real da cultura ($t\ ha^{-1}$)
p	Fração da evapotranspiração máxima da cultura suprida por outras fontes de água diferentes da irrigação
P_c	Produtividade nos dias claros
P_{ef}	Total da precipitação efetiva ocorrida durante o ciclo fenológico da cultura
P_m	Ponto de murcha
P_{max}	Produtividade máxima da cultura
P_n	Produtividade nos dias nublados
R_a	Radiação solar extraterrestre
R_n	Saldo de radiação à superfície da cultura
R_{nl}	Saldo de radiação de ondas longas
R_{ns}	Saldo de radiação de ondas curtas
R_s	Radiação de ondas
R_{se}	Radiação efetiva de ondas curtas para dias claros
$S(x)$	Função de distribuição acumulada empírica dos dados

T	Transpiração total
T _m	Temperatura média do dia
T _n	Temperatura mínima do dia
T _x	Temperatura máxima do dia
U ₂	Velocidade do vento média a 2 m de altura
Umidade	Umidade atual do solo
UR	Umidade relativa média diária
UR _{min}	Média da umidade relativa mínima diária
UR _{Max}	Média da umidade relativa máxima diária
U _z	Velocidade do vento medida à altura Z
W	Água armazenada no solo
yc	Taxa de produção bruta de matéria seca da cultura-padrão em dia sem nuvens
Y _i	Observação da variável dependente para o i-ésimo nível
ym	Taxa de produção de matéria seca de folhas
yon	Taxa de produção bruta de matéria seca da cultura-padrão em dia completamente nublado
α	Albedo
β	Coefficiente da regressão
γ	Coefficiente psicrométrico
μ _e	Média da produtividade estimada
μ _o	Média da produtividade observada
δ	Declinação solar
λ	Calor latente de evaporação
φ	Latitude
ω ₂	Ângulo horário do pôr-do-sol
γ	Coefficiente psicrométrico
Δ	Declividade da curva de pressão de vapor

RESUMO

OLIVEIRA, Henrique Faria de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2010. **Avaliação de modelos de estimativa de produtividade da cana-de-açúcar irrigada em Jaíba-MG.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Coorientadores: Gilberto Chohaku Sediyaama e Maurício Bernardes Coelho.

A cultura da cana-de-açúcar é submetida durante o seu desenvolvimento a diferentes condições ambientais, sendo o rendimento agrícola afetado diretamente por estas condições. Modelos de produtividade tornam-se ferramentas importantes objetivando suprir estimativas de rendimento ao longo das safras visando à caracterização de alternativas de manejo, aumentando a eficácia das decisões gerenciais e estratégicas. A tecnologia da informação é uma importante ferramenta nesse processo e tem sido cada vez mais utilizada para coleta e análise de dados que são utilizados como base nas suas decisões. O objetivo deste trabalho foi incluir no software Irriplus modelos de estimativa de produtividades de culturas agrícolas, utilizando os modelos de Stewart e Mantovani para estimar a produtividade real e o Método da Zona Agroecológica (MZA) para estimar a produtividade máxima. Além dos modelos, foi desenvolvida uma metodologia de regressão linear múltipla para explicar os fatores que estão influenciando a produtividade da cultura e gerar modelos de produtividade a partir de dados históricos. Para

avaliar os modelos, foi utilizada análise descritiva e testes de análise comparativa entre a produtividade estimada e observada em campo. Os testes estatísticos utilizados foram: teste-t pareado, erro relativo percentual (ERP) e erro médio absoluto (MAE). Foram utilizados dados reais de produtividade da cana-de-açúcar RB 86-7515 irrigada, safras 2007/2008 e 2008/2009, do município de Jaíba do estado de Minas Gerais. O modelo de Stewart requer como dado de entrada a produtividade máxima, que foi estimada pelo MZA nas duas safras. Na safra 2007/2008, o modelo estimou a produtividade média em 113,58 t ha⁻¹, enquanto a produtividade média observada em campo foi 113,47 t ha⁻¹, o MAE foi igual a 10,10. Na safra 2008/2009 o modelo estimou a produtividade média em 121,81 t ha⁻¹, enquanto a produtividade média observada em campo foi 121,81 t ha⁻¹, o MAE foi igual a 8,02. Nas duas safras o teste-t pareado não demonstrou diferença significativa entre as médias de produtividade. O modelo de Mantovani utilizou a mesma produtividade máxima do modelo de Stewart estimada pelo MZA. Na safra 2007/2008, o modelo estimou a produtividade média em 198,13 t ha⁻¹, enquanto a produtividade média observada em campo foi 113,47 t ha⁻¹, o MAE foi igual a 84,66. Na safra 2008/2009, o modelo estimou a produtividade média em 154,81 t ha⁻¹, enquanto a produtividade média observada em campo foi 121,81 t ha⁻¹, o MAE foi igual a 32,72. Nas duas safras, o teste-t pareado demonstrou diferença significativa entre as médias de produtividade e a estimativa do modelo superestimou produtividade observada em campo. Foi ajustada uma equação por regressão linear múltipla, com dados da safra 2007/2008, relacionada com as variáveis: irrigação total necessária, capacidade total de água no solo, água disponível no solo, evapotranspiração de referência, evapotranspiração da cultura e evapotranspiração máxima da cultura. A equação foi avaliada na safra 2008/2009 para estimativa da produtividade. A equação estimou a produtividade média em 122,41 t ha⁻¹, enquanto a produtividade média observada em campo foi 121,81 t ha⁻¹, o MAE foi igual a 7,07. O teste-t pareado não demonstrou diferença significativa entre as médias de produtividade.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Henrique Faria de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2010. **Evaluation of models to estimate the productivity of irrigated sugar cane at Jaiba-MG**. Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Co-advisers: Gilberto Chohaku Sedyama and Maurício Bernardes Coelho.

The sugarcane crop is subjected during their growth to different environmental conditions, and agricultural yield directly affected by these conditions. Yield models become important tools in order to supply estimates of crop yield along to characterize management alternatives, increasing the efficiency of management and strategic decisions. Information technology is an important tool in this process and has been increasingly used for collecting and analyzing data that are used as the basis of their decisions. The objective of this work was included in the software Irriplus estimated yield of crops models, using the Stewart and Mantovani models to estimate the real productivity and Method of Agroecological Zone (MAZ) to estimate the maximum productivity. Besides the models, a methodology of multiple linear regressions was developed to explain the factors that are influencing the yield crop and generate yield models from historical data. To evaluate the models, was used descriptive analysis and analysis tests comparing the real and estimated yield. Statistical tests were paired t-test, relative error percentage (REP) and mean absolute error (MAE). Was used real yield data of irrigated sugarcane RB 86-7515, crops

2007/2008 and 2008/2009, in the Jaíba city of Minas Gerais state. The Stewart Model requires as input the maximum yield that was estimated by MAZ in two crops. In the 2007/2008 crop, the model estimated the average productivity at 113.58 t ha⁻¹, while the real yield average was 113.47 t ha⁻¹, the MAE was equal 10.10. In the 2008/2009 crop, the model estimated the average productivity at 121.81 t ha⁻¹, while the real yield average was 121.81 t ha⁻¹, the MAE was equal 8.02. In both crops the paired t-test showed no significant difference between the average yields. The Mantovani model used the same maximum yield of the model of Stewart, estimated by MAZ. In the 2007/2008 crop, the model estimated the average productivity at 198.13 t ha⁻¹, while the real yield average was 113.47 t ha⁻¹, the MAE was equal 84.66. In the 2008/2009 crop, the model estimated the average productivity at 154.81 t ha⁻¹, while the real yield average was 121.81 t ha⁻¹, the MAE was equal 32.72. In both crops the paired t-test showed significant difference between the average yields and the yield estimated overestimated the real yield. An equation was fitted by multiple linear regression using data from the 2007/2008 crop, related variables: total irrigation required, total capacity of the soil water, available soil water, reference evapotranspiration, crop evapotranspiration and maximum crop evapotranspiration. The equation was evaluated in the 2008/2009 crop for yield estimated. The equation estimated the average productivity at 122.41 t ha⁻¹, while the real yield average was 121.81 t ha⁻¹, the MAE was equal 7.07. The paired t-test showed no significant difference between the average yields.

1. INTRODUÇÃO

Um dos importantes desafios da agricultura atual é o aumento da qualidade dos produtos, associado à preservação do meio ambiente e permitindo benefícios sustentáveis nas explorações agrícolas. É de grande importância o desenvolvimento de estratégias de manejo fundamentado em princípios científicos para os destinos de uma agricultura racional.

Dentro deste panorama destaca-se o termo função de produção, que se aplica genericamente a qualquer relação que se caracteriza a resposta da cultura a um determinado fator (MANTOVANI, 1993). Uma ferramenta importante neste estudo são os modelos de simulação para previsão de crescimento, desenvolvimento e produção das culturas.

O uso de modelos de produtividades assume grande importância em estudos com esse objetivo, caracterizando-se como importante ferramenta de assistência à tomada de decisões para viabilizar sistemas racionais de produção. Apesar da complexidade envolvida na construção desses modelos, os esforços são compensados em função de sua grande aplicabilidade.

Para a agricultura irrigada, a cultura deve ser integrada em novo sistema produtivo, aumentando a utilização dos demais fatores de produção para obter melhores produtividades com melhor combinação dos insumos empregados. Para tal, é fundamental conhecer como a cultura se comporta sob irrigação, avaliando a influência na evapotranspiração e seus efeitos no desenvolvimento da cultura.

A irrigação é uma tecnologia que fornece grandes benefícios à produção agrícola quando corretamente utilizada em conjunto com um pacote tecnológico adequado, uma vez que proporciona o aumento da produtividade, possibilita a introdução de cultivos de maior rentabilidade e gera menor risco de perda ou redução da produção devido ao déficit hídrico.

Apesar dos grandes avanços realizados no desenvolvimento e na fabricação de sistemas de irrigação, estes se caracterizam, por certo grau de desuniformidade de distribuição de água, associados ao próprio sistema, ao seu manejo e à interação com o meio ambiente (FACCIOLI, 2002). O que torna interessante o estudo da relação entre o rendimento da produtividade agrícola e a água aplicada.

Segundo Mantovani et al. (2009), a agricultura tem sido responsável por grande parcela da água utilizada, tornando necessária a implantação de sistemas de irrigação eficientes, além da utilização de métodos que quantifiquem as necessidades hídricas das culturas, para que não haja desperdício. Essa quantificação permite projetar sistemas de irrigação mais adequados, o que, conseqüentemente, reduz o consumo da água e energia.

As funções de produção em relação à água analisam a produção total de matéria seca ou matéria comercial das culturas em relação à transpiração, evapotranspiração ou quantidade de água aplicada pela irrigação. O conhecimento dessas relações é necessário para avaliação de estratégias de irrigação (MANTOVANI, 1993).

Em razão do crescimento do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo, principalmente devido à produção de etanol como fonte de energia renovável, intensificaram as pesquisas em tecnologias que melhorem o sistema produtivo da cana-de-açúcar.

A cana é cultivada em mais de 90 países, sendo o Brasil o maior produtor mundial com uma produção na safra 2008/2009 de 700 milhões de toneladas em uma área de 8,9 milhões de hectares, as quais deverão suprir a crescente demanda interna e externa por álcool, combustível e açúcar (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2009a). Apesar de o Brasil destacar-se no cenário internacional por toda sua tecnologia já empregada nas diferentes etapas de produção, a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo.

A cana-de-açúcar é submetida durante o seu desenvolvimento fenológico a diferentes condições ambientais e climáticas, sendo o rendimento agrícola afetado diretamente por estas condições. Neste contexto, surge a necessidade de estudos com fundamentos científicos que relacionam a produtividade com as condições climáticas. Modelos de estimativa de produtividade tornam-se ferramentas importantes, objetivando suprir estimativas de rendimento ao longo da safra, visando à caracterização das alternativas de manejo e aumentando a eficácia das decisões gerenciais e estratégicas.

A tecnologia da informação é uma importante ferramenta nesse processo e tem sido cada vez mais utilizada para coleta e análise de dados que são utilizados como base nas suas decisões.

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivos:

- Incluir no software Irriplus o modelo de estimativa de produtividade máxima do Método da Zona Agroecológica (DOORENBOS; KASSAM, 1979) e os modelos de estimativa de produtividade real de Stewart (STEWART et al., 1977) e Mantovani (MANTOVANI, 1993);
- Desenvolver uma metodologia de regressão linear múltipla no software Irriplus para relacionar os fatores que estão influenciando a produtividade da cultura e gerar modelos de produtividade a partir de dados históricos;
- Avaliar todos os modelos citados, estimando a produtividade da variedade RB 86-7515 da cultura da cana-de-açúcar irrigada, safras 2007/2008 e 2008/2009, do município de Jaíba do estado de Minas Gerais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Função de produção

O termo função de produção refere-se à utilização ótima dos recursos produtivos e indica os métodos que devem ser utilizados para se alcançar essa otimização. Para efeito de análises, podem-se considerar relações físicas e econômicas.

Segundo Mantovani (1993), o termo função de produção se aplica genericamente a qualquer relação que caracteriza a resposta da cultura a um determinado fator, como água, fertilizante e energia. As funções de produção em relação à água analisam a produção total de matéria seca ou matéria comercial das culturas, frente à transpiração, evapotranspiração ou quantidade de água aplicada pela irrigação.

Frizzone (1998) e Bernardo (2006) definem função de produção como uma representação gráfica ou uma relação matemática que indica a máxima produtividade física possível de se obter com a tecnologia existente.

A produtividade de uma cultura é determinada principalmente pelo seu potencial genético, porém, fatores do ambiente como temperatura e radiação solar têm grandes influências sobre seu desenvolvimento e produtividade. Diversos estudos vêm sendo conduzido com o intuito de relacionar parâmetros climáticos com a produtividade das culturas. Segundo Doorenbos e Kassam

(1979), as relações entre cultura, clima, água e solo são complexas, pois envolvem processos biológicos, fisiológicos, físicos e químicos.

O conhecimento de tais relações é de fundamental importância para relacionar a produção com a evapotranspiração e aplicação de manejo de água, além de promover informações para projetos de sistemas de irrigação e realizar análises econômicas de alternativas de manejo de água (MANTOVANI, 1993).

Do ponto de vista do manejo da irrigação é mais interessante o estudo da relação entre rendimento e a água aplicada. Apesar dos grandes avanços realizados no desenvolvimento e fabricação de equipamentos de irrigação, este se caracteriza, por certo grau de desuniformidade de distribuição de água, associados ao próprio sistema, o seu manejo e a interação com o meio ambiente (LEAL et al., 2003).

As funções de produção água-cultura são particularmente importantes para as análises de produção agrícola quando a água é escassa. Para o processo de planejamento, essas funções constituem o elemento básico de decisão dos planos de desenvolvimento e, relativamente à operação de projetos de irrigação, permitem tomar decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica com base na água disponível (FRIZZONE, 1998).

Segundo Bernardo (2006), estudos com enfoque econômico, que levem em conta a resposta da produção da cultura em relação a diferentes lâminas de irrigação, são fundamentais para viabilizar e difundir a exploração da cultura em uma região, tendo como forma de viabilizar um sistema de produção ou para aumentar a sua rentabilidade.

2.1.1. Modelos de função de produção

Modelos de função de produção têm obtido grande importância no cenário de pesquisas da agricultura há décadas, sendo um dos primeiros elaborado por Das (1936), Borden (1948) e seguido por Stanford e Ayres (1964) relatando a nutrição de nitrogênio nas plantas. Na sequência, teve os modelos de Glover (1972), Bull e Glasziou (1975) e Thompson (1978) incorporando a fotossíntese, interceptação luminosa e a partição da biomassa.

Doorenbos e Kassam (1979), que baseou no trabalho de De Wit (1958), utilizou como parâmetro o déficit hídrico da cultura (LISSON et al., 2005).

De Wit (1958, citado por FACCIOLI, 2002) encontrou uma relação linear entre a produção de matéria seca e a razão entre a transpiração e evaporação medida em uma superfície de água livre para regiões áridas e semi-áridas, descrita pela seguinte equação:

$$MS = m \left[1 - \frac{T}{E_o} \right] \quad (1)$$

em que MS é matéria seca total acumulada; m, coeficiente de proporcionalidade; T, transpiração total; E_o, evaporação medida em uma superfície de água livre.

Para regiões semi-úmidas, onde a radiação solar é um fator limitante, o autor sugeriu a seguinte equação:

$$MS = nT \quad (2)$$

em que MS é matéria seca total acumulada; n, coeficiente de proporcionalidade; e T, transpiração total.

A determinação do valor n durante vários anos consecutivos mostrou que ele varia de ano para ano. Assim, para anos quentes o valor do fator era baixo, enquanto em anos mais frios o coeficiente era maior.

Arkley (1963, citado por FRIZZONE, 1998) modificou a relação proposta por De Wit (1958), introduzindo um fator de correção climático para substituir a evaporação da água medida em uma superfície de água livre, com base na umidade relativa média diária. O autor também investigou a relação entre produção de matéria seca, transpiração e déficit de pressão de vapor, o que permitiu combinar os resultados de produção e transpirações das regiões úmidas e áridas. A relação é descrita pela seguinte equação:

$$MS = \frac{KT}{(100-UR)} = 0,01KT \left(\frac{E_o}{E_o - E_a} \right) \quad (3)$$

em que MS é matéria seca total acumulada; T, transpiração total; UR, umidade relativa média diária; K, constante empírica; E_o , pressão de saturação do vapor de água à temperatura média do ar; E_a , pressão parcial de vapor de água na atmosfera.

Segundo Leal (2000), os modelos que descrevem a relação que caracteriza a resposta da cultura a determinado fator podem ser classificados como: fisiológicos, empíricos e de otimização econômica. A produtividade da cultura pode resultar de uma interação complexa de muitos processos fisiológicos, cada qual sendo afetado, de modo diferente, pelo déficit de água na planta. Com base em estudos fisiológicos, De Wit (1965, citado por FACCIOLI, 2002) propôs uma equação para determinar a taxa de produtividade máxima diária de matéria seca em cada estágio de crescimento da cultura, descrita pela equação 4.

$$P_{max} = F P_n + (1 - F)P_c \quad (4)$$

em que P_{max} é produtividade máxima da cultura; F, fração do dia em que o sol fica encoberto por nuvens; P_n , produtividade nos dias nublados; P_c , produtividade nos dias claros.

Os modelos fisiológicos, em geral, envolvem muitos fatores como o genético e ambiental. Dessa forma, dificultam suas utilizações para fins práticos. Por essa razão, as funções de produção empíricas ou semi-empíricas têm sido geradas para estabelecer critérios de planejamento e manejo da irrigação das culturas, pois relacionam à produtividade da cultura e o teor de umidade do solo, evapotranspiração ou transpiração (LEAL, 2000).

Hanks (1974, citado por MANTOVANI, 1993) utilizou a equação de De Wit e desenvolveu um modelo que relaciona transpiração e a produtividade relativa de matéria seca, descrito pela seguinte equação:

$$\frac{MS}{MS_m} = \frac{T}{T_m} \quad (5)$$

em que MS é produção real de matéria seca; MS_m , produção máxima de matéria seca; T, transpiração real; T_m , transpiração máxima.

Segundo Howell e Hiler (1975) e Stewart et al. (1977, citados por FACCIOLI, 2002), muitas pesquisas sustentam a hipótese de relação linear entre a produtividade comercial com a evapotranspiração. Segundo estes autores, quando a evapotranspiração real é menor que do que a evapotranspiração máxima, ocorrem redução de produtividade da cultura.

Tarjuelo et al. (1999) afirmam que as funções de produção evapotranspiração-cultura assumem que os nutrientes necessários ao pleno desenvolvimento da cultura são fornecidos adequadamente.

Stewart et al. (1977) formularam um modelo em que a produtividade e a evapotranspiração são consideradas em termos relativos com respeito a seus valores máximos, quantificando o efeito da falta de água disponível no solo sobre o decréscimo da produtividade potencial, ocorrida durante o ciclo da cultura, sendo o K_y uma medida da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico.

$$1 - \frac{P}{P_{max}} = k_y \left(1 - \frac{ETc}{ETm} \right) \quad (6)$$

em que P é produtividade real da cultura ($t \text{ ha}^{-1}$); P_{max} , produtividade máxima da cultura ($t \text{ ha}^{-1}$); K_y , coeficiente de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (adimensional); ETc , total da evapotranspiração da cultura durante seu ciclo (mm); ETm , total da evapotranspiração máxima da cultura durante seu ciclo (mm).

De acordo com o mesmos autores, quando o suprimento de água não satisfaz as necessidades da cultura, a ETc será menor do que a ETm . Sob essa condição, ocorre um estresse hídrico e a planta é afetada em seu crescimento e, posteriormente, na sua produtividade.

Doorenbos e Kassam (1979) afirmam que, para algumas culturas, a evapotranspiração tem uma relação direta com a produção de matéria seca quando, com exceção da água, todos os fatores necessários ao pleno desenvolvimento da cultura são mantidos em níveis adequados.

Doorenbos e Kassam (1979) utilizaram o modelo de Stewart et al. (1977) para desenvolver um método que estabelece a relação entre água e rendimento das culturas. Proporam que o cálculo de rendimento máximo fosse realizado pela aproximação de De Wit modificada com alguns fatores de

correção, e o cálculo da evapotranspiração total e máxima pelos métodos apresentados por Doorenbos e Pruitt (1977). Os autores consideraram que um déficit hídrico de certa magnitude pode ocorrer tanto de forma contínua durante todo o período de crescimento da cultura como durante qual uma das fases específicas do crescimento. Geralmente, as culturas são mais sensíveis a déficit hídrico durante a fase de emergência, floração e na fase inicial de formação da colheita do que durante o período vegetativo, após o estabelecimento, e a maturação. Tal fato implica que a programação do momento de aplicação de água é tão importante quanto o nível de suprimento de água durante o período total de crescimento.

Portanto, o planejamento do suprimento estacional deve considerar o fornecimento ótimo de água à cultura durante as fases do ciclo fenológico (FRIZZONE, 1998).

As relações apresentadas pela metodologia proposta por Doorenbos e Kassam (1979) referem-se a variedades altamente produtivas, bem adaptadas ao ambiente de crescimento, desenvolvendo em grandes áreas onde as práticas agronômicas e o manejo de irrigação é realizado sob condições ótimas, incluindo o fornecimento adequado de insumos, com exceção da água (FRIZZONE, 1998).

Mantovani (1993), citando Stewart e Hangan (1973), relata que, ao contrário da relação entre rendimento e evapotranspiração, a relação entre o rendimento e água aplicada não é linear, uma vez que uma parte da água aplicada não é utilizada pela cultura. O autor cita ainda que a forma dessa função depende da uniformidade de distribuição de água da irrigação.

Stegman et al. (1980, citados por FACCIOLI, 2002), afirmam que a curva de rendimento em função da água aplicada está próxima da reta de rendimento em função da evapotranspiração, para pequenas lâminas de irrigação, mas se afasta progressivamente para maiores lâminas de irrigação. A redução do rendimento, por excesso da água, está associada à falta de aeração no solo, à lixiviação de nutrientes e às doenças que desenvolvem em solo úmido.

Tarjuelo et al. (1999) afirmam que existem evidências de que a função de produção água aplicada é de forma convexa, em contraste com a forma linear de produção em função de evapotranspiração. As formas lineares e

convexas coincidem até certo ponto, e posteriormente divergem com o aumento da quantidade de água aplicada. A diferença entre as duas curvas é a água não utilizada para evapotranspiração. A relação entre matéria seca ou produção e lâminas de irrigação depende principalmente da função de evapotranspiração, da salinidade proveniente da água de irrigação, da irrigação e da uniformidade de irrigação.

Mantovani (1993) desenvolveu um modelo de função de produção, apresentado pela equação 7, que considera a influência da uniformidade de aplicação de água na produção, sendo desenvolvido a partir do modelo de Stewart. Ele observou que a lâmina de água necessária para obter a produtividade máxima aumenta com a redução da uniformidade de aplicação, e que, dado um coeficiente de uniformidade, o nível ótimo de irrigação depende da relação entre o preço do produto e o da água.

$$1 - \frac{P}{P_{max}} = ky Cd(1 - p) \quad (7)$$

em que Cd é coeficiente de *déficit*, (adimensional); e P , fração da evapotranspiração máxima da cultura suprida por outras fontes de água diferentes da irrigação (adimensional).

O coeficiente de déficit (Cd) é um índice relacionado ao manejo de água e ao atendimento da demanda hídrica da cultura pela irrigação, apresentando um componente tecnológico associado à eficiência do manejo e outro estratégico associado à magnitude da lâmina de irrigação a ser aplicada.

A fração da evapotranspiração máxima da cultura suprida por outras fontes de água diferentes da irrigação (p) é relacionada aos fatores edáficos, climáticos e da própria cultura.

2.1.2. Modelos de simulação de crescimento das culturas

Os modelos de simulações do rendimento agrícola são ferramentas que possibilitam antever as respostas de determinada cultura submetida às condições desejadas pelo pesquisador, antes mesmo de se concluir um ensaio.

Os estudos de produção das culturas são tradicionalmente conduzidos por meio de experimentos agrônômicos de campo, e as funções de produção são derivadas de análises estatísticas, sem o entendimento dos princípios biológicos e físicos envolvidos no processo. Recentemente, as aplicações de conhecimentos com base em sistemas de manejos de cultura têm obtido popularidade em razão da expansão do conhecimento dos processos envolvidos no crescimento da planta (FREITAS, 2000).

Segundo Mantovani (1993), os modelos de simulação, uma vez verificados, podem ser utilizados para simular experimentos que avaliem mudanças na produtividade das culturas associadas a qualquer variável, inclusive a irrigação. Ainda segundo o autor, os modelos de simulação são mais exigentes nos dados necessários, porém permitem a transferibilidade dos resultados para outras condições.

Segundo Gedanken (1998), os modelos podem evidenciar os benefícios de novas técnicas de manejo sugeridas por pesquisas recentes e, estimular a adoção de métodos mais eficientes de produção.

Um dos modelos de simulação mais utilizados no mundo é o modelo CERES (Crop Environment Resource Synthesis). O modelo foi desenvolvido pelo Grassland Soil and Water Research Synthesis e permite simulações dos principais processos físicos e fisiológicos, como: fotossíntese, respiração, acumulação e partição de biomassa, crescimento foliar, extração de água do solo e evapotranspiração (JONES; KINIRY, 1986, citados por FACCIOLI, 2002).

Recentemente, foi desenvolvido pela FAO (Food and Agriculture Organization) o modelo AquaCrop (RAES et al., 2009), que permite estimar, com precisão, a influência da água no rendimento de várias culturas. O modelo apresenta o potencial de uso da água para responder questões em pesquisa, manejo de culturas e planejamento, auxiliando no entendimento sobre as interações genéticas, fisiológicas e do ambiente.

2.1.3. Irriplus

Costa e Mantovani (1998), em parceria com a Secretaria de Recursos Hídricos/MMA e o Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade

Federal de Viçosa, desenvolveram um sistema computacional para auxiliar no manejo da irrigação, que inicialmente tinha o nome de SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola), posteriormente sendo modificado para Irriplus.

Para concepção do software, Costa e Mantovani (1998) consideraram três aspectos fundamentais: rigor científico, sistema de fácil comunicação e interação com o usuário, tanto no manuseio do software quanto nas informações e resultados, e um sistema que considera o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, com visão ampla dos aspectos água, solo, clima, planta e sistema de irrigação.

No software estão disponíveis as mais modernas técnicas aplicadas à agricultura, ferramentas poderosas para o planejamento da exploração racional e auto-sustentada da propriedade agrícola, adaptadas às condições brasileiras, permitindo um manejo integrado das culturas agrícolas, tanto das anuais quanto das perenes.

O sistema permite ao usuário a simulação de plantio com balanço hídrico detalhado durante o ciclo da cultura, criando vários níveis de decisões e possibilita o levantamento de dados para projetos de irrigação e drenagem em todo o país.

No módulo manejo, o usuário alimenta periodicamente com informações climáticas, e o sistema calcula a disponibilidade atual de água para a cultura, fornecendo relatórios e gráficos. Considerando uma base histórica de dados climáticos disponíveis no programa, o sistema faz a previsão de chuva e orienta o usuário quanto ao momento de irrigar e quanto à lâmina de água a ser aplicada. Na simulação, o usuário define as condições a serem simuladas para uma determinada cultura como época de plantio e localidade, o software gera uma base de dados correspondente ao consumo de água, ao déficit hídrico, à probabilidade de doença e a duração do ciclo da cultura.

2.2. Cana-de-açúcar

2.2.1. A cultura

A cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) é uma gramínea tipicamente tropical, adaptada ao clima quente e úmido, pertencente à família Poaceae e à

classe monocotiledônea. As principais espécies surgiram na Oceania (Nova Guiné) e na Ásia (Índia e China) e as variedades cultivadas no Brasil e no mundo são híbridos multiespecíficos. As principais características dessa família são a inflorescência em forma de espiga, o crescimento do caule em colmos, as folhas com lâminas de sílica em suas bordas e a bainha aberta. A planta na forma nativa é perene, de hábito ereto e levemente decumbente na fase inicial do crescimento (MOZAMBANI, 2006).

Está enquadrada entre as gramíneas de maior eficiência fotossintética, ou seja, é classificada entre as plantas de metabolismo C_4 , por isto, geralmente, é tolerante a altas temperaturas (RODRIGUES, 1995).

A cultura é constituída de um sistema radicular, dos colmos, onde a sacarose é predominantemente estocada, e das folhas dispostas ao redor da cana, nos nódulos inter colmos e também na parte superior da planta onde se localiza a gema apical (MANTELATTO, 2005).

A parte morfológica da cana-de-açúcar de interesse comercial é o colmo, que possui sacarose industrializável. A composição química dos colmos é extremamente variável em função de diversos fatores como: variedade da cultura; idade fisiológica, condições climáticas durante o desenvolvimento e maturação, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, tipo de cultivo entre outros (PARANHOS, 1987; MARQUES et al., 2001).

Segundo Bray (1980), durante o ciclo vegetativo existem fases em que a planta apresenta alterações em função da ação do ambiente. As principais fases de crescimento da cana-de-açúcar estão representadas na Figura 1, ilustrando os principais processos fisiológicos envolvidos em cada fase e sua duração aproximada.

Os principais fatores que influenciam o crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar são: variedade, umidade, porosidade, densidade do solo e disponibilidade de nutrientes (CASAGRANDE, 1991).

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), o ciclo fenológico total varia de 9 a 24 meses, porém, geralmente o período é de 12 a 16 meses.



Eventos	Germinação e Emergência	Perfilamento e Estabelecimento	Elongação do colmo; Crescimento Intenso; Início do Acúmulo de Sacarose	Intenso acúmulo de sacarose
Fase	1) Emergência	2) Estabelecimento	3) Desenvolvimento da Cultura	4) Maturação
Duração	30 a 60 dias	60 a 90 dias	180 a 210 dias	60 a 90 dias

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

Figura 1 - Fases de crescimento da cana-de-açúcar.

2.2.2. Histórico, aspectos econômicos e cenário atual

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil no início da colonização do país, para exploração dos portugueses, sendo no século XVI a base da economia brasileira. O processo de colonização das terras brasileiras se deu com a construção de engenhos que processavam a cana para a produção de açúcar, um importante produto de exportação da época. O cultivo de cana continuou sendo o pilar do comércio exterior do país até o século XVIII, quando foi gradualmente substituído pelo café. Ao final do século XX, em 1975, o Brasil tornou-se o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool, em função do programa nacional do álcool (FAUSTO, 2006).

A cana-de-açúcar é uma cultura de interesse mundial, sendo cultivada em mais de 90 países. Quase metade da produção mundial é assegurada por quatro nações das Américas: Brasil, Cuba, México e EUA. No Brasil tem sido cultivada em escala comercial desde a proximidade da linha do Equador, sendo do estado do Amazonas até regiões subtropicais, como o estado do Rio Grande do Sul, o que resulta uma extrema diversidade de unidades edafoclimáticas (AGRIANUAL, 2003). Os estados da região centro-sul, que inclui as regiões sul, sudeste e centro-oeste, são responsáveis pelo processamento de 90% da produção nacional de cana-de-açúcar, e os estados das regiões norte e nordeste responsável pelo restante (CONAB, 2009a).

O Brasil é o maior produtor mundial, com uma produção na safra 2008/2009 de 700 milhões de toneladas em uma área de 8,9 milhões de hectares, superando a safra anterior em 25,3%, as quais deverão suprir com a crescente demanda interna e externa por álcool combustível e açúcar (CONAB, 2009b).

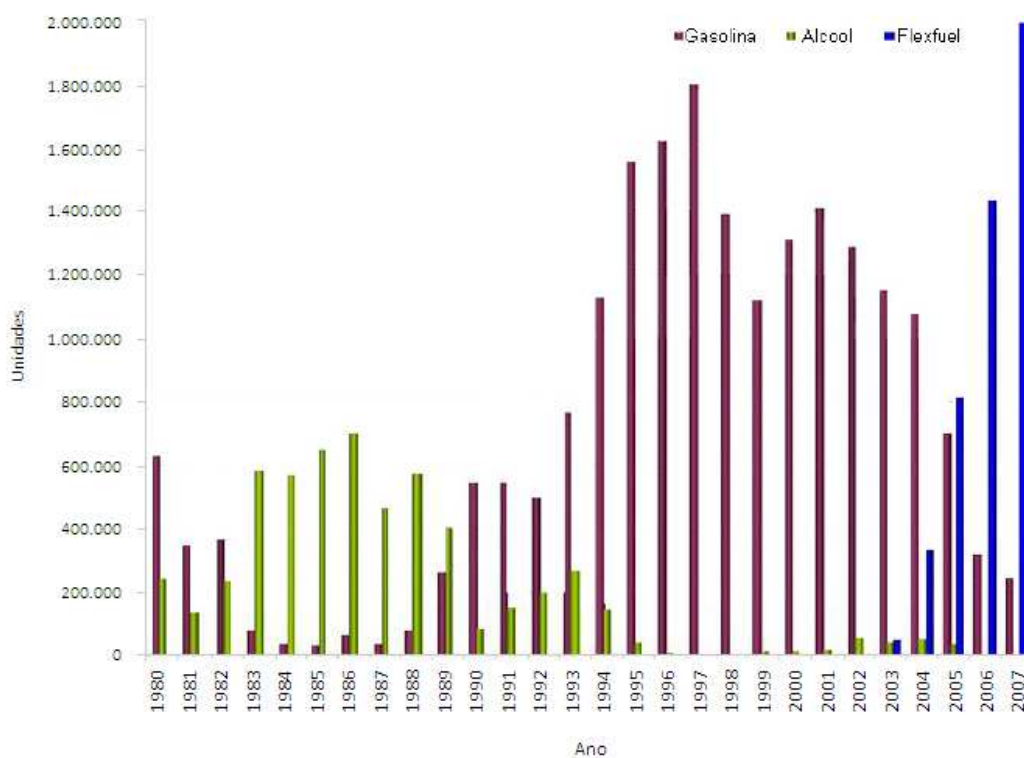
Desta produção de 700 milhões de toneladas, 240,9 foi destinada para produção de açúcar, 317,8 para produção industrial de álcool anidro e hidratado e o restante destinado para a produção de aguardente, álcool etílico, para alimentação animal e outros subprodutos (CONAB, 2009b).

A produção de açúcar, nesta safra, atingiu 31,3 milhões de toneladas, sendo 21,1 milhões de toneladas exportadas. Já a produção de álcool atingiu a marca de 27,6 bilhões de litros (anidro e hidratado), sendo 4,7 bilhões de litros exportados e um consumo de 19,6 bilhões de litros (BRASIL, 2009).

O agronegócio sucroalcooleiro movimenta cerca de R\$ 40 bilhões por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a aproximadamente 2,35% do PIB nacional, além de ser um dos setores que mais empregam no país, com a geração de 3,6 milhões de empregos diretos e indiretos (UNIÃO DAS INDÚSTRIAS DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA, 2009).

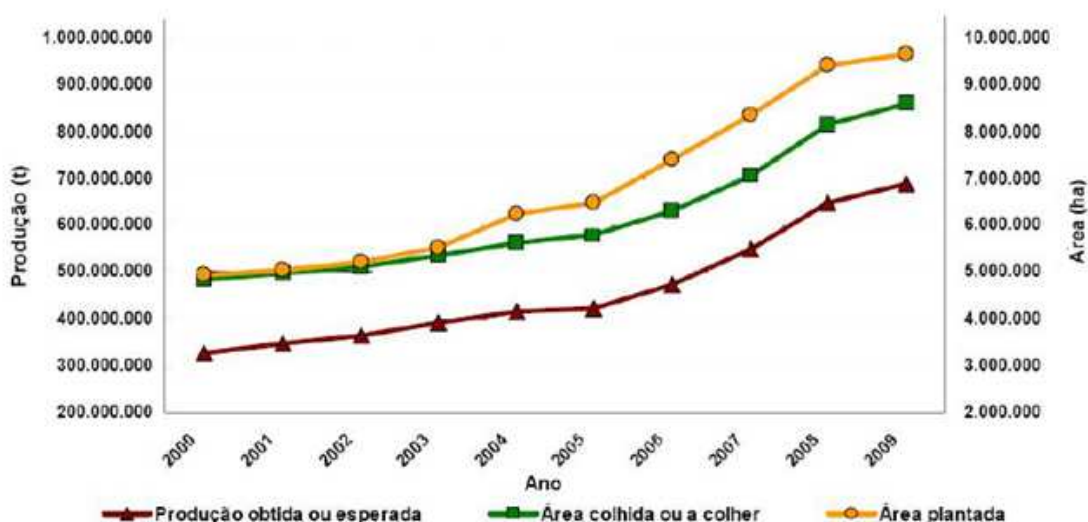
Atualmente, o cultivo de cana-de-açúcar é o que mais cresce no Cerrado, impulsionado, principalmente, pela produção de etanol, cuja demanda se acentuou com o desenvolvimento dos carros com motores bicombustíveis (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2009).

De acordo com as Figuras 2 e 3, percebe-se uma relação entre o aumento na venda dos carros bicompostíveis e o aumento na produção e área plantada de cana-de-açúcar no país, principalmente a partir de 2005.



Fonte: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA (2008).

Figura 2 - Vendas de automóveis leves por tipo de combustível.



Fonte: IBGE (2009).

Figura 3 - Produção, área colhida e plantada de cana-de-açúcar no Brasil.

A crescente preocupação do agravamento do efeito estufa e aquecimento global, fez com que muitos países desenvolvidos buscassem fontes renováveis de energia. Segundo Soares et al. (2009), o desenvolvimento de biocombustíveis vem como uma fonte de energia ambientalmente mais correta, quando comparado com a utilização de combustíveis fósseis. O álcool produzido a partir da cana-de-açúcar, além de contribuir na redução da emissão de carbono, tem um papel importante na economia nacional.

2.2.3. Aspectos climáticos

A cana-de-açúcar, em função do seu ciclo perene, sofre influências das variações climáticas durante todo o ano. Para atingir alta produção de sacarose, a planta precisa encontrar épocas com condições de temperatura e umidade adequadas para permitir o máximo crescimento na fase vegetativa, seguida de um período com restrição hídrica ou térmica para favorecer o acúmulo de sacarose no colmo na época do corte. A cana-de-açúcar encontra suas melhores condições quando ocorre um período quente e úmido, com

intensa radiação solar durante a fase de crescimento, seguido de um período seco durante as fases de maturação e colheita (ALFONSI et al., 1987).

No que se refere aos fatores climáticos para a produção da cana-de-açúcar, a temperatura é, provavelmente, o de maior importância. A temperatura basal para a cana-de-açúcar está em torno de 20°C. A temperatura ótima situa-se entre 22 a 30°C, sendo que nestas condições a cultura apresenta seu máximo crescimento. Acima de 38°C não há crescimento (BARBIERI; VILLA NOVA, 1977; DOORENBOS; KASSAM, 1979).

2.2.4. Necessidades hídricas

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), uma umidade adequada durante todo o período de crescimento é importante para se obter rendimentos máximos, visto que o crescimento vegetativo é diretamente proporcional a água transpirada.

Segundo Scardua e Rosenfeld (1987), esse consumo também varia em função do estágio fenológico, do ciclo da cultura (cana planta ou cana soca), das condições climáticas, da água disponível no solo entre outros fatores. Esses autores apresentam um resumo das determinações de consumo de água obtidas em campo conforme apresentado na Tabela 1.

Dependendo do clima, as necessidades hídricas da cana-de-açúcar são de 1500 a 2500 mm uniformemente distribuídos durante o ciclo de crescimento (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

Nos trópicos úmidos, podem ser considerados bons rendimentos da cultura, exclusivamente de sequeiro, na faixa de 70 a 100 t ha⁻¹ de cana, e nos trópicos e subtropicais secos, com irrigação, entre 100 e 150 t ha⁻¹ (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Porém, de acordo com Bernardo (2006), na maioria das regiões do Brasil a produtividade da cana-de-açúcar sob o cultivo de sequeiro está bem abaixo desses valores, e no cultivo irrigado é comum não ultrapassar 100 t ha⁻¹. Segundo Veiga et al. (2006), entre o período de 1970 e 2004, a produtividade da cana-de-açúcar no Brasil aumentou de forma significativa, variando de 46,23 t ha⁻¹ na safra 1970/1971 a 73,88 t ha⁻¹ na safra 2004/2005.

Tabela 1 - Consumo de água pela cana-de-açúcar, obtido em campo por diversos autores

Autor	Ano	Local	Ciclo da cultura	Consumo de água (mm/d ⁻¹)		
				Máximo	Mínimo	Médio
Cox	1960	EUA (Havaí)	-	8,0	3,8	-
Thompson	1963	África do Sul	-	6,0	2,2	-
Tosello	1966	Brasil	-	3,4	1,3	-
Cruciani	1972	Brasil	-	2,8	1,2	-
Souza	1974	Brasil	Planta	4,5	2,3	3,6
Souza	1975	Brasil	Soca	5,0	2,2	3,6
Leme	1978	Brasil	Planta	5,6	1,9	3,8
Leme	1978	Brasil	Planta	4,8	1,3	3,2
Scardua	1979	Brasil	Planta	4,5	2,3	3,3
Scardua	1979	Brasil	Soca	4,4	2,2	3,2
Média				4,9	2,1	3,5

Fonte: Scardua e Rosenfeld (1987).

O manejo da água na cultura da cana-de-açúcar é crítico para a obtenção de altas produtividades de colmos e açúcar. A produtividade da cana é frequentemente limitada tanto pelo excesso quanto pela deficiência de água. Um suprimento adequado de água é necessário para a brotação e o crescimento vegetativo da cultura, apesar do uso consuntivo ser baixo nestas duas fases. As maiores quantidades de água são requeridas durante o período de máxima formação de produção, ao passo que é necessária pouca água na fase de maturação para o acúmulo de sacarose (GASCHO; SHIH, 1983).

2.2.5. Manejo de irrigação

A irrigação é uma técnica milenar que, nos últimos anos, desenvolveu-se de forma acentuada, possibilitando a sua utilização nas mais diversas condições de solo, cultura e clima. Existe uma ampla disponibilidade de equipamentos para atender aos mais distintos sistemas de produção. Estes avanços, porém, não foram acompanhados por igual avanço na utilização de técnicas de manejo da irrigação (MANTOVANI et al., 2009).

Para aplicação no planejamento, projeto e operação de sistemas de irrigação é necessário analisar o efeito do suprimento de água sobre os rendimentos da cultura. A produção das culturas e o uso ótimo de água são determinados pelo ambiente como um todo e, por consequência, são específicos da localidade (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

No Brasil, a área com cana-de-açúcar irrigada ainda é pouco expressiva, sendo menor que 5% do total cultivado. Isto se deve, principalmente, à alta resistência da cultura a déficits hídricos e à localização geográfica dos cultivos de cana-de-açúcar, onde a estação chuvosa coincide com a fase de crescimento vegetativo e a fase de maturação coincide com o período seco (FRIZZONE et al., 2001).

A irrigação da cana-de-açúcar traz diversos benefícios, como aumento da produtividade de colmo e do teor de sacarose, precocidade da colheita, longevidade do canavial, baixo índice de tombamento, facilitando a colheita mecanizada, e maior resistência a pragas e doenças (SOARES et al., 2003).

Guazzelli e Paes (1997, citados por SANTOS, 2005) estudaram a cana-de-açúcar SP 80-1842, cultivada com irrigação por gotejamento na região de Ribeirão Preto-SP, e obtiveram 173 t ha⁻¹ com irrigação total e 144 t ha⁻¹ sem irrigação, com aumento de 29 t ha⁻¹, correspondente a um acréscimo de 20%.

Segundo Bernardo (2006), no manejo da irrigação da cana-de-açúcar, é importante caracterizar as fases de crescimento da cultura, conforme apresentado na Figura 1, a fim de possibilitar a aplicação adequada de água ao longo do ciclo. O déficit de água no solo é mais crítico nos dois primeiros estádios de desenvolvimento, podendo ocorrer redução na população de plantas. Na fase de crescimento vegetativo, este déficit não afeta tanto a produtividade quanto nas duas fases anteriores. Na fase de maturação, a cultura responde bem ao déficit hídrico no solo, com aumento no teor de açúcar na planta.

Existem diversas técnicas de manejo da irrigação aplicadas à cultura da cana-de-açúcar: irrigação de salvação, irrigação com déficit hídrico controlado, irrigação suplementar e irrigação total. Os métodos de irrigação mais utilizados na cultura da cana-de-açúcar são: aspersão, superfície e localizada (BERNARDO, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição geral

Este trabalho foi realizado no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, durante o período de janeiro a setembro de 2010. Foram avaliados modelos de estimativa de produtividade para a cultura da cana-de-açúcar no município de Jaíba do estado de Minas Gerais, sendo irrigada por pivô central. Os modelos de estimativa de produtividade foram incluídos no software Irriplus, cuja descrição do software está apresentada no Apêndice A. O balanço hídrico diário foi realizado pelo Irriplus, sendo todos os dados, de cultura, solo, clima e irrigação, cedidos pela Fazenda SADA Bio-Energia. Os dados estão apresentados no Apêndice B.

3.2. Modelo de Stewart

O modelo de Stewart (STEWART et al., 1977) relaciona a produtividade com a evapotranspiração da cultura. Para a estimativa da produtividade da cultura, o modelo utiliza como dados de entrada a produtividade máxima da cultura, o coeficiente de resposta da cultura, o total da evapotranspiração da cultura e o total da evapotranspiração máxima da cultura durante seu ciclo. O modelo é descrito pela seguinte equação:

$$P = P_{max} \left[1 - ky \left(1 - \frac{ETc}{ETm} \right) \right] \quad (8)$$

em que P é produtividade real da cultura ($t \text{ ha}^{-1}$); P_{max} , produtividade máxima da cultura ($t \text{ ha}^{-1}$); Ky, coeficiente empírico, que representa a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (adimensional); ETc, total da evapotranspiração da cultura durante seu ciclo (mm); ETm, total da evapotranspiração máxima da cultura durante seu ciclo (mm).

3.2.1. Produtividade máxima da cultura (P_{max})

A P_{max} é determinada, principalmente, por suas características genéticas e grau de adaptação no ambiente predominante, ao qual, as exigências ambientais de clima, solo, e água para o crescimento e a produtividade ótima diferem com a cultura e variedade. Para garantir a obtenção de uma produtividade elevada e satisfatória, inicialmente é requerida uma seleção cuidadosa da cultura e respectiva variedade mais bem adaptada a determinado ambiente (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

Os elementos climáticos que determinam a P_{max} são temperatura, radiação e duração do período total de crescimento, além de algumas necessidades específicas para o desenvolvimento da cultura, quanto à temperatura e duração do dia. Geralmente, a temperatura determina a taxa de crescimento da cultura e, conseqüentemente, influi na duração do período total de crescimento necessário para a formação da colheita (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

Segundo Leal (2000), a maioria das culturas apresenta variedades que diferem tanto em relação às suas necessidades climáticas, gerais e específicas, quanto em relação à duração do ciclo fenológico. Essa variação permite que a cultura se adapte a uma ampla faixa de condições climáticas e ao período de tempo necessário disponível para a produção.

A P_{max} pode ser calculada para diferentes condições climáticas. Os métodos de estimativa permitem a quantificação do potencial produtivo de diferentes áreas, identificando, desse modo, as mais apropriadas para a produção de determinada cultura. Para calcular a P_{max} foi utilizado o Método da Zona Agroecológica.

3.2.2. Método da zona agroecológica

O método da Zona Agroecológica (MZA), denominado por Doorenbos e Kassam (1979), pressupõe que a produtividade de uma cultura bem adaptada ao respectivo ambiente de crescimento, sem limitações hídricas e nutricionais sem ocorrência de doenças e pragas, seja condicionada apenas pela interação entre características genéticas da cultura e as condições climáticas.

O método que calcula o rendimento da cultura foi desenvolvido para servir como estimativa em base continental. Entretanto, ele pode ser aplicado a um nível de detalhe necessário para que se ajuste em localidades específicas. Ele utiliza os conceitos de cultura-padrão de De Wit e da taxa de produção de matéria seca das folhas. O MZA é descrito pela seguinte equação:

$$P_{max} = cL cN cH G [F(a + b ym) yon + (1 - F)(c + d ym)yc] \quad (9)$$

em que P_{max} é produtividade máxima da cultura (kg ha^{-1}); cL , correção em função do desenvolvimento da cultura e área foliar (adimensional); cN , correção para a produção de matéria seca (adimensional); cH , correção para a parte colhida (adimensional); G , período total de crescimento (dia); F , fração do dia em que o sol fica encoberto por nuvens (adimensional); ym , taxa de produção de matéria seca de folhas ($\text{kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$); yon , taxa de produção bruta de matéria seca da cultura-padrão em dia completamente nublado ($\text{kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$); yc , taxa de produção bruta de matéria seca da cultura-padrão em dia sem nuvens ($\text{kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$).

Os valores de a , b , c e d são iguais a 0,8, 0,01, 0,5 e 0,025, respectivamente para $ym \geq 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ e iguais a 0,5, 0,025, 0,0 e 0,05, respectivamente, para $ym < 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$.

3.2.3. Correção em função do desenvolvimento da cultura e área foliar (cL)

A taxa máxima de crescimento no desenvolvimento da cultura será menor no início e no final do período, deste modo a taxa média é de aproximadamente 50% da taxa correspondente ao crescimento máximo. Para a

cultura padrão, supõe-se que possua área foliar ativa a cinco vezes a área do terreno, isto é, $IAF = 5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (DOORENBOS; KASSAM, 1979). O valor de cL é apresentado na Tabela 2, em função da área foliar da cultura.

Tabela 2 - Valores da cL em função da área foliar da cultura (IAF)

$IAF \text{ (m}^2\text{m}^{-2}\text{)}$	cL
1	0,20
2	0,30
3	0,40
4	0,48
5	0,50

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

3.2.4. Correção para produção de matéria seca (cN)

A cN é um índice que representa a energia disponível para produzir novo crescimento, pois a planta necessita de energia para os processos internos de desenvolvimento (respiração) e para manter a produção de matéria seca. A equação 10 apresenta os valores estimados de cN em função da temperatura média do ar (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

$$cN = \begin{cases} 0,60; & Tm < 20^\circ\text{C} \\ 0,50; & Tm \geq 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (10)$$

em que Tm é temperatura média do dia ($^\circ\text{C}$).

3.2.5. Índice de colheita (cH)

Geralmente, apenas uma parte da matéria seca total é transformada em produção. O cH é a razão entre a produtividade obtida e matéria seca total. Doorenbos e Kassam (1979) apresentaram o cH da cana-de-açúcar igual a 0,25. Este valor corresponde à produção de matéria seca de açúcar. Neste

trabalho foi considerada a produtividade total obtida da cana-de-açúcar, sendo o cH igual a 1,00.

3.2.6. Fração do dia em que o sol fica encoberto por nuvens (F)

O valor de F representa a fração do período diurno em que o sol fica encoberto por nuvens e é calculado pela equação 11.

$$F = \frac{Rse - 0,5 Rs}{0,8 Rse} \quad (11)$$

em que Rse é radiação efetiva de ondas curtas para dias claros ($MJ m^{-2} d^{-1}$); e Rs, radiação de ondas curtas ($MJ m^{-2} d^{-1}$).

Os valores da Rse, γ_n e γ_c foram obtidos da Tabela 3, em função da latitude e o mês, e a Rs foi calculada pela equação 12. A unidade da Rse está apresentada em $cal cm^{-2} d^{-1}$, e foi convertida para $MJ m^{-2} d^{-1}$ para o cálculo de F (equação 11).

$$Rs = \left(0,25 + 0,50 \frac{n}{N}\right) Ra \quad (12)$$

em que n é horas de brilho solar diário (h); N, duração total do dia (h); e Ra, radiação solar extraterrestre ($MJ m^{-2} d^{-1}$).

$$N = 7,64 \omega_2 \quad (13)$$

$$\omega_2 = \arccos(-\tan\varphi \tan\delta) \quad (14)$$

$$\delta = 0,409 \text{ sen}(0,0172 J - 1,39) \quad (15)$$

$$Ra = 37,6 dr (\omega_2 \text{ sen}\varphi \text{ sen}\delta + \text{cos}\varphi \text{ cos}\delta \text{ sen}\omega_2) \quad (16)$$

$$dr = 1 + 0,033 \text{ cos}(0,0172 J) \quad (17)$$

em que ω_2 é ângulo horário do pôr-do-sol (rad); φ , latitude (rad); δ , declinação solar (rad); J, número do dia do ano (adimensional); e dr, inverso da distância relativa Terra-Sol (adimensional).

Tabela 3 – Valores da Rse ($\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$), yon ($\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) e yc ($\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$), da cultura-padrão

Norte		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Sul		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Lat < 10°	Rse	343	360	369	364	349	337	343	357	368	365	349	337
	yc	413	424	429	426	417	410	413	422	429	427	418	410
	yon	219	226	230	228	221	216	218	225	230	228	222	216
Lat < 20°	Rse	229	232	359	375	377	374	375	377	369	345	311	291
	yc	376	401	422	437	440	440	440	439	431	411	385	370
	yon	197	212	225	234	236	235	236	235	230	218	203	193
Lat < 30°	Rse	249	293	337	375	394	400	399	386	357	313	264	238
	yc	334	317	407	439	460	468	465	451	425	387	348	325
	yon	170	193	215	235	246	250	249	242	226	203	178	164
Lat < 40°	Rse	191	245	303	363	400	417	411	384	333	270	210	179
	yc	281	333	385	437	471	489	483	456	412	356	299	269
	yon	137	168	200	232	251	261	258	243	216	182	148	130
Lat ≥ 40°	Rse	131	190	260	339	396	422	413	369	298	220	151	118
	yc	219	283	353	427	480	506	497	455	390	314	241	204
	yon	99	137	178	223	253	268	263	239	200	155	112	99

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

3.2.7. Taxa de produção de matéria seca de folhas (ym)

A ym da cultura-padrão é considerada como tendo o valor de $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$. Entretanto, a produção da matéria seca depende da cultura e da temperatura. Os valores de ym, em função da temperatura, estão apresentados na Tabela 4 para a cana-de-açúcar.

Tabela 4 - Valores de y_m ($\text{kg ha}^{-1}\text{h}^{-1}$) para a cultura da cana-de-açúcar em função da temperatura média durante o ciclo da cultura

Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)	y_m
5	0
10	0
15	5
20	45
25	65
30	65
35	65
40	45
45	5

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

3.2.8. Coeficiente de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (K_y)

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a resposta do suprimento de água sobre o rendimento da cultura é quantificada por meio do K_y , que relaciona a queda de rendimento relativo com o déficit de evapotranspiração relativa. Os valores de K_y para a maioria das culturas são deduzidos supondo-se que a relação entre o rendimento relativo e a evapotranspiração relativa é linear e válida para déficits hídricos até cerca de 50%. Estes valores são baseados numa análise de dados experimentais de campo que abrangem uma ampla faixa de condições de crescimento.

O K_y é estimado de acordo com os estádios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar estabelecidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Coeficiente de resposta da cultura (Ky) para o período total de crescimento e para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura cana-de-açúcar

Estádios	Definição	Ky
Inicial	Estabelecimento	0,75
Crescimento	Período vegetativo	0,75
Produção	Floração até início da maturação	0,50
Maturação	Início da maturação até a colheita	0,10
Ciclo	Período total de crescimento	1,20

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

3.2.9. Evapotranspiração máxima da cultura (ETm)

Para estimar a ETm, foi utilizado o conceito de coeficiente de cultura (Kc) e evapotranspiração de referencia (ETo), proposto por Doorenbos e Pruitt (1977) conforme a equação 18. Segundo estes autores, o Kc é determinado empiricamente e varia para cada tipo de cultura e seu estágio de desenvolvimento.

$$ETm = Kc ETo \quad (18)$$

em que ETm é evapotranspiração máxima da cultura (mm d⁻¹); Kc, coeficiente de cultura (adimensional); ETo, evapotranspiração de referência (mm d⁻¹).

Doorenbos e Pruitt (1977) e Doorenbos e Kassam (1979) reuniram grande quantidade de informações sobre Kc apresentando amplo estudo na maioria das espécies cultivadas comercialmente. O método consiste em dividir o ciclo da cultura em fases de desenvolvimento definindo-se um Kc específico para cada fase. Na Tabela 6 estão apresentados os valores de Kc para a cultura da cana-de-açúcar.

Allen et al. (1998) atualizaram essa metodologia propondo equações para ajustar os Kc em razão de variações climáticas, sendo descrita pela equação 19. Segundo estes autores, a variação na taxa de desenvolvimento da

cultura devido à mudança de local e variações climáticas entre anos sucessivos, pode alterar a curva da cultura, devendo ser monitorada as suas principais fases de desenvolvimento.

$$Kc = Kc_{tab} + [0,04(U_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (19)$$

em que Kc_{tab} é Kc tabelado (adimensional); U_2 , velocidade média do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$); UR_{min} , média da umidade relativa mínima diária (%); e h , altura da planta (m).

Tabela 6 - Valores médios do coeficiente de cultura (Kc), em função do estádios de desenvolvimento da cultura cana-de-açúcar

Estádios	Definição	Kc
Inicial	Estabelecimento	0,45
Crescimento	Período vegetativo	0,85
Produção	Floração até início da maturação	1,15
Maturação	Início da maturação até a colheita	0,55

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

O método utilizado para calcular a ET_o foi o de Penman-Monteith descrito no Boletim FAO-56 (ALLEN et al., 2006).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34U_2)} \quad (20)$$

em que ET_o é evapotranspiração de referência ($mm\ d^{-1}$); Rn , saldo de radiação à superfície da cultura ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$); G , densidade do fluxo de calor do solo ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$); T , temperatura média diária ($^{\circ}C$); U_2 , velocidade do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$); e_s , pressão do vapor de saturação (kPa); e_a , pressão do vapor atual (kPa); Δ , declividade da curva de pressão de vapor ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$); γ , coeficiente psicrométrico ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$).

$$\Delta = \frac{4098 e_a}{(T+237,3)^2} \quad (21)$$

$$e_a = 0,611 e^{\frac{17,27T}{T+237,3}} \quad (22)$$

$$e_s = \frac{e_a(Tn)^{\frac{UR_{max}}{100}} + e_a(Tx)^{\frac{UR_{min}}{100}}}{2} \quad (23)$$

em que $e_a(Tn)$ é pressão do vapor de saturação da temperatura mínima Tn (kPa); $e_a(Tx)$, pressão do vapor de saturação da temperatura máxima Tx (kPa); UR_{min} , umidade relativa mínima (%); UR_{max} , umidade relativa máxima (%).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (24)$$

em que R_{ns} é saldo de radiação de ondas curtas ($MJ m^{-2} d^{-1}$); e R_{nl} , saldo de radiação de ondas longas ($MJ m^{-2} d^{-1}$).

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (25)$$

em que α é albedo (adimensional); $\alpha = 0,23$.

$$R_{nl} = 4,903 \cdot 10^{-9} \left[\frac{(Tx+273,16)^4 + (Tn+273,16)^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{n}{N} - 0,35 \right) \quad (26)$$

em que Tx é temperatura máxima do dia ($^{\circ}C$); Tn , temperatura mínima do dia ($^{\circ}C$).

$$G = 0,38(Tm_i - Tm_{i-1}) \quad (27)$$

em que Tm_i é temperatura média do ar do dia i ($^{\circ}C$); Tm_{i-1} , temperatura média do ar do dia $i-1$ ($^{\circ}C$).

A correção para a velocidade do vento em função da altura do anemômetro foi feita pela seguinte equação:

$$\frac{U_2}{U_z} = \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (28)$$

em que U_z é velocidade do vento medida à altura z ($m\ s^{-1}$); z , altura de medição da velocidade do vento (m); $z = 10$.

$$\gamma = 0,00163 \frac{P}{\lambda} \quad (29)$$

em que P é pressão atmosférica (kPa); λ , calor latente de evaporação ($MJ\ kg^{-1}$).

$$\lambda = 2,501 - 2,361 \cdot 10^{-3} T \quad (30)$$

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065Z}{293} \right)^{5,26} \quad (31)$$

em que Z é altitude (m).

3.2.10. Evapotranspiração da cultura (ETc)

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), quando a ETc for menor do que a ETm, ocorre um déficit de evapotranspiração, que resulta numa redução da produtividade. O cálculo da ETc utilizado foi o de MANTOVANI (1997), definido pela equação 32, que é muito utilizado na área de gestão de irrigação.

$$ETc = ET_o K_c K_s \quad (32)$$

em que ETc é evapotranspiração da cultura ($mm\ d^{-1}$); K_s , coeficiente de estresse hídrico (adimensional).

$$k_s = \frac{\ln[LAA+1]}{\ln[CTA+1]} \quad (33)$$

em que LAA é lâmina real de água no solo (mm); CTA, capacidade total de água no solo (mm).

3.3. Modelo de Mantovani

O modelo de Mantovani (MANTOVANI, 1993) relaciona a produtividade da cultura com a água de irrigação e a uniformidade de aplicação. Ele foi desenvolvido a partir do modelo de Stewart. Para a estimativa da produtividade

da cultura o modelo utiliza como dados de entrada, a produtividade máxima da cultura, o coeficiente de déficit e a fração da evapotranspiração máxima da cultura, durante o seu ciclo fenológico, suprida por outras funções de água diferentes da irrigação. Cujas expressões matemáticas são definidas pela equação 34.

$$P = P_{max}[1 - ky Cd (1 - p)] \quad (34)$$

em que Cd é coeficiente de déficit (adimensional); p, fração da evapotranspiração máxima da cultura suprida por outras fontes de água diferentes da irrigação (adimensional).

3.3.1. Produtividade máxima da cultura (P_{max})

A produtividade máxima utilizada no modelo de Mantovani foi a mesma do modelo de Stewart, o MZA, descrito pela equação 9.

3.3.2. Coeficiente de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (Ky)

O Ky foi estimado de acordo com os estádios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar apresentados na Tabela 5.

3.3.3. Coeficiente de déficit (Cd)

O Cd é um índice relacionado ao manejo de água e ao atendimento da demanda hídrica da cultura pela irrigação, apresentando um componente tecnológico associado à eficiência do manejo e outro estratégico associado à magnitude da lâmina de irrigação a ser aplicada. A produção máxima só pode ser alcançada se o Cd for igual a zero, pois este quantifica o déficit de água a que está submetida uma área da superfície irrigada. Mantovani (1993) determinou o coeficiente descrito pela seguinte equação:

$$Cd = \begin{cases} \left[\frac{1 - 2CUC + \frac{L_r}{L_b}}{8 - 8CUC} \right] \left[1 - \frac{L_b}{L_r} (2CUC - 1) \right], & L_b \geq L_r \\ 1 - \frac{L_b}{L_r}, & L_b < L_r \end{cases} \quad (35)$$

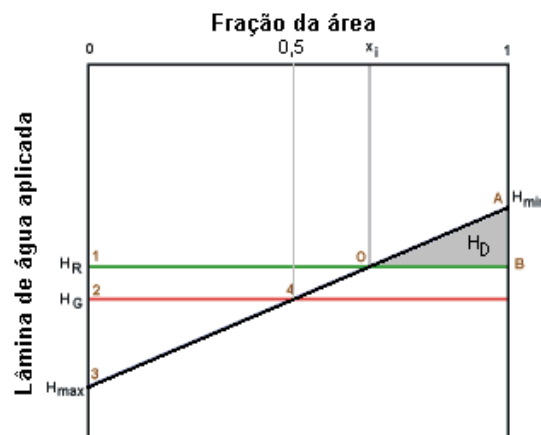
em que CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (decimal); L_b , lâmina bruta aplicada na cultura durante seu ciclo fenológico (mm); L_r , lâmina requerida pela cultura durante seu ciclo fenológico (mm).

Segundo Mantovani (1993), o primeiro conceito de uniformidade foi desenvolvido por Christiansen (1942), e é comumente chamado de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). De acordo com Mantovani (1993), este é um dos mais utilizados para quantificar a uniformidade de aplicação de água por um sistema de irrigação por pivô central, sendo descrito pela seguinte equação:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_m|}{n X_m} \right] \quad (36)$$

em que CUC, coeficiente de uniformidade de Christiansen (%); n , número de coletores na área entre quatro emissores; X_i , lâmina de água coletada no i -ésimo coletor (mm); X_m , valor médio das lâminas de água coletada (mm).

A L_b foi atribuída com a água da irrigação aplicada e a precipitação durante o ciclo, e a L_r atribuída com o total da evapotranspiração da cultura.



Fonte: Mantovani (1993).

Figura 4 - Modelo linear de distribuição de água pelos aspersores.

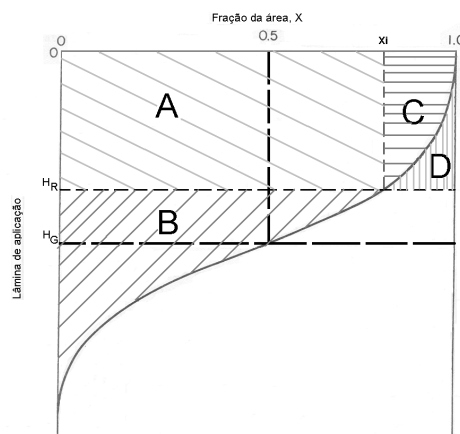
Para o desenvolvimento do coeficiente de déficit, o autor considerou que o perfil de distribuição de água pelos aspersores segue uma distribuição

uniforme, função linear, e que 50% da área recebem uma lâmina de água igual ou superior à lâmina bruta, conforme exemplificado pela Figura 4, em que H_R corresponde à lâmina requerida pela cultura, H_G a lâmina bruta, H_{max} a lâmina máxima aplicada, H_{min} a lâmina mínima aplicada e H_D o déficit de água.

Entretanto, Faccioli (2002) relata que a distribuição normal acumulada pode ser utilizada para descrever as eficiências de irrigação e as uniformidades de distribuição de água e para caracterizar os padrões de precipitação dos aspersores. A partir do coeficiente linear proposto por Mantovani (1993), Faccioli (2002) determinou o modelo de distribuição normal descrito pela equação 37.

$$Cd = \begin{cases} \left[\frac{\left(\frac{4,548(1-CUC) - 1 + \frac{L_r}{L_b}}{1,407(1-CUC)} \right)^{3,322}}{100} \right] \left(1 - \frac{L_b}{L_r} \right) + \frac{(1-CUC)L_b}{2L_r}, & L_b \geq L_r \\ 1 - \frac{L_b}{L_r}, & L_b < L_r \end{cases} \quad (37)$$

Segundo Faccioli (2002), a Figura 5 apresenta o gráfico da função densidade de probabilidade acumulada para o modelo de distribuição normal, com as áreas A, B, C e D definidas. A quantidade de água armazenada na zona radicular é representada por A e C, a água percolada é representada por B, e o déficit de água no solo é representado por D.



Fonte: Faccioli (2002).

Figura 5 - Modelo normal de distribuição de água pelos aspersores.

Neste trabalho foi considerado o coeficiente de déficit de distribuição normal, proposto por Faccioli (2002), descrito pela equação 37.

3.3.4. Fração da evapotranspiração máxima da cultura suprida por outras fontes de água diferentes da irrigação (p)

A fração da evapotranspiração máxima da cultura suprida por outras fontes de água diferentes da irrigação (p) é uma variável relacionada aos fatores edáficos, climáticos e da própria cultura, sendo determinada pela equação 38. O valor de p deve ser maior ou igual a zero e menor ou igual a 1

$$p = \frac{W + P_{ef} + CF}{ET_m} \quad (38)$$

em que W é água armazenada no solo (mm); P_{ef}, total da precipitação efetiva ocorrida durante o ciclo da cultura (mm); CF, contribuição capilar do lençol freático (mm).

Foram consideradas apenas as variáveis W, P_{ef} e ET_m para calcular p. Estas variáveis foram obtidas por meio do balanço hídrico diário do software Irriplus, tomando W como a água disponível no solo (AD), calculada pela equação 39, e a P_{ef} pela equação 40.

$$AD = \frac{Umidade - P_m}{10} d_a Z \quad (39)$$

em que AD é água disponível no solo (mm); Umidade é umidade real do solo (%); P_m, ponto de murcha (%); d_a, densidade do solo (g cm⁻³); Z, profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

$$P_{ef} = \sum \left[0,9177 + 1,8111 \log(P_i) - 0,0097 \log(P_i) \left(\frac{S_{i-1}}{S_i} 100 \right) \right] \quad (40)$$

em que P_{ef} é total de precipitação efetiva do ciclo (mm); P_i, precipitação do dia i (mm); S_{i-1}, água disponível no solo da primeira camada no dia i-1 (mm); S_i, capacidade de água total na primeira camada no dia i (mm).

3.4. Modelos por regressão linear múltipla

Cada vez mais tem se aplicado análises estatísticas para a otimização de processos, devido aos bons resultados que estas análises proporcionam. A análise de regressão é uma técnica estatística para investigar e modelar a relação entre variáveis, sendo uma das mais utilizadas na análise de dados.

A regressão linear múltipla é usada para estudar a relação entre uma variável dependente (Y) e várias independentes ($X_1, X_2, X_3 \dots X_n$). De modo geral, tem por objetivo estimar os parâmetros desconhecidos do modelo e estabelecer equações que possa ser usada para prever valores de Y em relação às variáveis independentes (JOHNSON; WICHERN, 2002). O modelo é apresentado pela seguinte equação:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_{1i}X_{1i} + \beta_{2i}X_{2i} + \dots + \beta_pX_{pi} + e_i \quad (41)$$

em que Y_i é observação da variável dependente para o i-ésimo nível; β_0 , coeficiente da regressão, representa o intercepto da reta ao eixo y; β_i , coeficiente de regressão no i-ésimo nível, representa a variação de Y_i em função da variação da variável X_i ; X_i , é variável independente para o i-ésimo nível; e_i , erro associado entre o valor observado Y_i e o correspondente ponto na curva do modelo proposto para o mesmo nível X_i .

Um dos problemas mais frequentes durante a especificação de um modelo de regressão linear múltipla é a seleção do conjunto de variáveis independentes a serem incluídas no modelo. Talvez muitas delas pouco contribuam ou nada para a precisão da predição do modelo. A escolha apropriada de algumas delas fornece a melhor predição, entretanto devemos saber quais e quantas variáveis serão selecionadas (SNEDECOR; COCHRAN, 1982).

Segundo Johnson e Wichern (2002), os métodos mais conhecidos na literatura para seleção de variáveis para um modelo de regressão linear múltipla são: exaustivo, melhores subconjuntos, *backward*, *forward* e *stepwise*.

O resultado do software Iriplus apresenta grande quantidade de informações diárias detalhadas, referente ao balanço hídrico, dados climáticos e irrigação, totalizando 112 variáveis. Deste modo foi elaborado modelos de

regressão linear múltipla relacionando a produtividade observada em campo da cana-de-açúcar com as variáveis do resultado do Irriplus.

O modelo para estimar a produtividade está apresentado pela equação 41. Para estimar os coeficientes da regressão, foi utilizado o método dos mínimos quadrados, descrito pela seguinte equação:

$$\beta = (X'X)^{-1}(X'Y) \quad (42)$$

em que β é coeficientes da regressão; X, matriz das variáveis independentes; Y, matriz das variáveis dependentes.

Para seleção das variáveis que predizem a produtividade foi utilizado o método exaustivo. Este método consiste em ajustar todas as regressões possíveis e utilizar critérios de comparação para melhor solução. Os critérios estatísticos utilizados foram:

1. Teste de aderência *Kolmogorov-Smirnov*, para avaliar se a distribuição de dados da variável aleatória é proveniente de uma distribuição normal. Segundo Sokal e Rohlf (1995), este teste avalia se duas amostras tem distribuição semelhante e observa a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados e a função de distribuição empírica dos dados. Como critério, comparamos esta diferença com um valor crítico, para um dado nível de significância. A hipótese de nulidade é de que as duas amostras são igualmente distribuídas.

$$D = \text{MAX}|F(x) - S(x)| \quad (43)$$

em que F(x) é função de distribuição acumulada assumida para os dados; S(x), função de distribuição acumulada empírica dos dados.

2. Teste F de Fischer-Snedecor, para testar a existência de regressão. O teste é efetivado através da distribuição de Fischer-Snedecor. A hipótese é aceita caso haja regressão de Y em $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ com nível de significância $\alpha = 5\%$, Se $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$;

3. Teste t de Student, para avaliar a significância dos coeficientes da regressão. A hipótese é aceita se $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$ com nível de significância $\alpha = 5\%$. Os valores calculados para o modelo de melhor ajuste são dados pela expressão que relaciona todos os coeficientes da regressão com seu desvio padrão;
4. Coeficiente de determinação (R^2), para avaliar o percentual de variação de y pelo conjunto de regressores x (x_1, X_2, \dots, x_p);
5. Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), para corrigir o R^2 . A inclusão de variáveis no modelo, com maior ou menor poder explicativo, eleva o R^2 . Deve-se ajustar o coeficiente que é penalizado quando incluído variáveis com menor poder explicativo.

Os critérios são avaliados de acordo com a ordem apresentada. Muitos testes estatísticos requerem a pressuposição de normalidade, para os modelos de regressão é frequentemente útil construir estimativas de intervalos de confiança para os coeficientes de regressão. O desenvolvimento de um procedimento para obter esses intervalos de confiança requer que os erros sejam normal e independentemente distribuídos. Deste modo, caso a variável aleatória não seja proveniente de uma distribuição normal, avaliada pelo teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov*, ela será excluída do modelo.

Com as variáveis provenientes de uma distribuição normal, são geradas todas as combinações possíveis, e ajustado as regressões. Para cada regressão são realizados os testes de F de Fischer-Snedecor, t de Student, coeficiente de determinação e coeficiente de determinação ajustado. A equação da regressão que apresentar o melhor resultado por todos os critérios estatísticos é o modelo selecionado.

O modelo de regressão linear múltipla selecionado neste trabalho está representado pela equação 44. A equação foi ajustada com dados da safra 2007/2008 e avaliado na safra 2008/2009 estimando a produtividade.

Os histogramas cumulativos de cada variável selecionada no modelo, especificando os valores máximos de divergência de *Kolmogorov-Smirnov*, os valores dos testes de F de Fischer-Snedecor, t de Student, coeficiente de

determinação e coeficiente de determinação ajustado, estão apresentados no resultado.

O modelo foi relacionado com as seguintes variáveis: irrigação total necessária (ITN), capacidade total de água no solo (CTA), AD, ETo, ETc e ETm, sendo descrito seguinte equação:

$$P = 37,278905 + (0,003562 ITN) - (1,827966 CTA) + (2,159514 AD) + (0,039519 ETo) + (0,108472 ETc) - (0,067786 ETm) \quad (44)$$

em que ITN é irrigação total necessária (mm); CTA, capacidade total de água no solo (mm).

$$ITN = \frac{IRN}{Ea} \quad (45)$$

em que IRN é irrigação real necessária (mm); Ea, eficiência de aplicação da irrigação (decimal).

$$IRN = \frac{(Cc - Pm) d_a Z f}{10} - Pe \quad (46)$$

em que Cc é capacidade de campo (%); f, fator de disponibilidade de água no solo (decimal); Pe, precipitação efetiva (mm).

$$CTA = \frac{Cc - Pm}{10} d_a Z \quad (47)$$

Os dados de ITN, IRN, CTA, AD, Ea, Cc, Pm, d_a , Z, f e Pe utilizados nas safras 2007/2008 para ajustar a equação e safra 2008/2009 para avaliar a equação estão apresentados no Apêndice B.

3.5. Localização da pesquisa e caracterização da área experimental

Foram utilizados dados reais de produção da cana-de-açúcar RB 86-7515, safras 2007/2008 e 2008/2009, do município de Jaíba localizado no norte do estado de Minas Gerais. As coordenadas geográficas são: 15°20'16" de latitude Sul, 43°40'26" de longitude Oeste e 478 m de altitude. Os dados foram

cedidos pela Fazenda SADA Bio-Energia que possui uma área de 4.735 ha de plantação de cana-de-açúcar.

O clima é semiárido, com baixa umidade relativa e altas temperaturas na maior parte do ano.

O solo da propriedade é franco-arenoso, classificado como um Neossolo Quartzarênico. Apresenta elevada taxa de infiltração e baixa capacidade de retenção de água, além de reduzida capacidade de troca catiônica.

O manejo foi dividido por parcelas, todas foram irrigadas por pivô central da fabricante Valley Valmont, modelo 4871-8000. Nas Tabelas 7 e 8 estão apresentados os detalhes das parcelas de cada safra com área, datas e total de dias de manejo.

3.6. Avaliação dos modelos

Para avaliar os modelos, foi utilizada análise descritiva e testes de análise comparativa entre os dados estimados e observados. Os testes estatísticos utilizados foram: teste-t pareado, para avaliar a diferença significativa entre as médias de produtividade estimada e observada; erro relativo percentual (ERP), para avaliar a produtividade estimada de cada parcela; e erro médio absoluto (MAE), para avaliar o erro total de estimativa da produtividade.

Para o teste-t pareado, utilizou-se nível de significância de 5% com as seguintes hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: \mu_o - \mu_e = 0 \\ H_1: \mu_o - \mu_e \neq 0 \end{cases} \quad (48)$$

em que H_0 é hipótese de nulidade; H_1 , hipótese alternativa; μ_o , média da produtividade observada; μ_e , média da produtividade estimada.

Tabela 7 - Informações das parcelas da safra 2007/2008

Parcela	Área (ha)	Data Inicial	Data Final	Total de Dias
P 02 - RB 86-7515	67	28/03/2007	29/06/2008	459
P 03 - RB 86-7515	67	28/03/2007	19/08/2008	510
P 04 - RB 86-7515	57	26/11/2007	21/09/2008	300
P 05 - RB 86-7515	70	28/03/2007	13/06/2008	443
P 06 - RB 86-7515	57	26/11/2007	19/09/2008	298
P 07 - RB 86-7515	70	28/03/2007	12/09/2008	534
P 08 - RB 86-7515	70	28/03/2007	05/06/2008	435
P 09 - RB 86-7515	70	28/03/2007	15/06/2008	445
P 10 - RB 86-7515	70	28/03/2007	27/05/2008	426
P 11 - RB 86-7515	57	26/11/2007	22/09/2008	301
P 12 - RB 86-7515	57	28/03/2007	05/09/2008	527
P 13 - RB 86-7515	57	26/11/2007	28/10/2008	337
P 14 - RB 86-7515	70	27/03/2007	29/06/2008	460
P 15 - RB 86-7515	70	27/03/2007	28/06/2008	459
P 16 - RB 86-7515	57	28/03/2007	17/10/2008	569
P 17 - RB 86-7515	70	28/03/2007	17/04/2008	386
P 18 - RB 86-7515	70	28/03/2007	14/06/2008	444
P 19 - RB 86-7515	70	28/03/2007	27/04/2008	396
P 20 - RB 86-7515	120	13/06/2007	26/06/2008	379
P 21 - RB 86-7515	120	05/09/2007	20/05/2008	258
P 22 - RB 86-7515	70	20/06/2007	31/08/2008	439
P 23 - RB 86-7515	57	26/11/2007	23/09/2008	302
P 24 - RB 86-7515	70	28/03/2007	31/03/2008	369
P 25 - RB 86-7515	70	28/03/2007	28/05/2008	427

Tabela 8 - Informações das parcelas da safra 2008/2009

Parcela	Área (ha)	Data Inicial	Data Final	Total de Dias
P 01 - RB 86-7515	57	01/10/08	29/08/09	332
P 02 - RB 86-7515	110	18/03/08	17/04/09	395
P 03 - RB 86-7515	70	11/04/08	04/05/09	388
P 04 - RB 86-7515	70	31/03/08	05/05/09	400
P 05 - RB 86-7515	70	13/06/08	04/06/09	356
P 06 - RB 86-7515	57	06/03/08	22/03/09	381
P 07 - RB 86-7515	70	30/06/08	16/07/09	381
P 08 - RB 86-7515	57	11/11/08	29/09/09	322
P 09 - RB 86-7515	70	26/03/08	04/05/09	404
P 10 - RB 86-7515	70	20/04/08	05/05/09	380
P 11 - RB 86-7515	57	11/11/08	28/08/09	290
P 12 - RB 86-7515	70	24/06/08	30/05/09	340
P 13 - RB 86-7515	70	29/07/08	18/05/09	293
P 14 - RB 86-7515	70	18/06/08	31/05/09	347
P 15 - RB 86-7515	70	02/04/08	05/05/09	398
P 16 - RB 86-7515	57	24/11/08	24/09/09	304
P 17 - RB 86-7515	70	16/08/08	19/05/09	276
P 18 - RB 86-7515	70	24/09/08	19/05/09	237
P 19 - RB 86-7515	57	11/11/08	20/08/09	282
P 20 - RB 86-7515	70	03/06/08	30/05/09	361
P 21 - RB 86-7515	57	11/11/08	27/08/09	289
P 22 - RB 86-7515	61	23/12/08	07/10/09	288
P 23 - RB 86-7515	57	17/11/08	04/09/09	291
P 24 - RB 86-7515	61	23/12/08	07/10/09	288
P 25 - RB 86-7515	61	26/11/08	07/10/09	315
P 26 - RB 86-7515	57	11/11/08	30/08/09	292
P 27 - RB 86-7515	61	10/12/08	28/09/09	292

O ERP está apresentado pela seguinte equação:

$$ERP_i = 100 \frac{E_i - O_i}{O_i} \quad (49)$$

em que ERP_i é erro relativo percentual no i -ésimo nível (%); O_i , valor observado no i -ésimo nível; E_i , valor estimado no i -ésimo nível.

O MAE está apresentado pela seguinte equação:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i - O_i| \quad (50)$$

em que n é número de observações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Modelo de Stewart

O Modelo de Stewart requer como dado de entrada a produtividade máxima (P_{max}), que foi estimada pelo Método da Zona Agroecológica (MZA), a Tabela 9 apresenta os resultados da safra 2007/2008 estimados pelo MZA. Para estimar a P_{max} , considerou a taxa de produção de matéria seca de folhas (y_m) igual a $65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ em todas as parcelas. Para a cultura da cana-de-açúcar a temperatura média (T_m) superior a 20°C e inferior a 35°C , y_m é igual $65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, a menor T_m foi igual a $24,13^\circ\text{C}$ e a maior igual a $25,46^\circ\text{C}$. A correção em função do desenvolvimento da cultura e área foliar (c_L) foi igual 0,5, conforme a Tabela 2, e a correção para a parte colhida (c_H) igual a 1,00.

A Tabela 10 apresenta os resultados da produtividade estimada pelo modelo de Stewart da safra 2007/2008. O maior e menor erro relativo percentual (ERP) foram de -21,45% na parcela 21 e -1,12% na parcela 4, respectivamente. A diferença entre a produtividade estimada e observada e o ERP de cada parcela, pode ser visualizado pelas Figuras 6 e 7.

De acordo com a Tabela 11, a média da produtividade estimada foi de $113,58 \text{ t ha}^{-1}$ e de $113,47 \text{ t ha}^{-1}$ para produtividade observada em campo e o erro médio absoluto (MAE) de 10,10.

Tabela 9 - Produtividade máxima da safra 2007/2008 estimada pelo Método da Zona Agroecológica

Parcela	G	F	Rse	Tm	yc	yon	P _{max}
P 01 - RB 86-7515	335	0,4697	351,62	24,56	418,46	222,61	172,09
P 02 - RB 86-7515	459	0,4750	354,01	24,37	420,59	223,93	235,71
P 03 - RB 86-7515	510	0,4797	356,18	24,13	422,49	225,10	261,93
P 04 - RB 86-7515	300	0,4700	351,75	24,28	418,80	222,83	154,25
P 05 - RB 86-7515	443	0,4734	353,29	24,44	419,89	223,53	227,45
P 06 - RB 86-7515	298	0,4697	351,64	24,28	418,72	222,78	153,23
P 07 - RB 86-7515	534	0,4813	356,92	24,15	423,04	225,42	274,20
P 08 - RB 86-7515	435	0,4725	352,91	24,46	419,53	223,32	223,33
P 09 - RB 86-7515	445	0,4736	353,38	24,43	419,98	223,59	228,48
P 10 - RB 86-7515	426	0,4715	352,44	24,48	419,09	223,07	218,69
P 11 - RB 86-7515	301	0,4701	351,81	24,29	418,84	222,85	154,76
P 12 - RB 86-7515	527	0,4809	356,76	24,13	422,93	225,36	270,63
P 13 - RB 86-7515	337	0,4696	351,58	24,59	418,42	222,59	173,10
P 14 - RB 86-7515	460	0,4750	354,02	24,37	420,60	223,93	236,22
P 15 - RB 86-7515	459	0,4749	353,98	24,37	420,55	223,91	235,70
P 16 - RB 86-7515	569	0,4812	356,91	24,29	422,89	225,32	292,04
P 17 - RB 86-7515	386	0,4660	349,97	24,52	417,03	221,80	198,18
P 18 - RB 86-7515	444	0,4735	353,34	24,44	419,94	223,56	227,97
P 19 - RB 86-7515	396	0,4674	350,60	24,53	417,53	222,10	203,29
P 20 - RB 86-7515	379	0,4652	349,60	24,49	416,89	221,68	194,66
P 21 - RB 86-7515	258	0,4375	337,70	25,46	406,38	215,39	132,48
P 22 - RB 86-7515	439	0,4657	349,83	24,25	417,34	221,97	148,14
P 23 - RB 86-7515	302	0,4702	351,87	24,30	418,88	222,88	155,27
P 24 - RB 86-7515	369	0,4634	348,82	24,50	416,11	221,24	189,48
P 25 - RB 86-7515	427	0,4716	352,50	24,48	419,14	223,10	219,20

G (dias) – duração do ciclo da cultura; F – fração do dia em que o sol fica encoberto por nuvens; Rse (cal cm⁻¹ d⁻¹) – radiação efetiva de ondas curtas para dias claros; Tm (°C) – temperatura média; yc (kg ha⁻¹ d⁻¹) – taxa de produção bruta de matéria seca da cultura-padrão em dia sem nuvens; yon (kg ha⁻¹ d⁻¹) – taxa de produção bruta de matéria seca da cultura-padrão em dia completamente nublado; P_{max} (t ha⁻¹) – produtividade máxima da cultura.

Tabela 10 - Produtividade real da safra 2007/2008 estimada pelo modelo de Stewart

Parcela	P _{max}	ETc	ETm	P	P _{obs}	ERP
P 01 - RB 86-7515	172,09	1199,92	1628,43	117,75	102,42	14,97
P 02 - RB 86-7515	235,71	1648,50	2613,50	131,27	117,21	12,00
P 03 - RB 86-7515	261,93	1535,97	2471,10	142,99	128,19	11,55
P 04 - RB 86-7515	154,25	1033,65	1416,62	104,21	105,39	-1,12
P 05 - RB 86-7515	227,45	1661,34	2535,48	133,35	148,49	-10,20
P 06 - RB 86-7515	153,23	1114,52	1403,92	115,33	122,16	-5,59
P 07 - RB 86-7515	274,20	1632,00	2575,83	153,63	148,79	3,25
P 08 - RB 86-7515	223,33	1499,50	2421,79	121,27	138,36	-12,35
P 09 - RB 86-7515	228,48	1521,50	2187,19	145,04	135,40	7,12
P 10 - RB 86-7515	218,69	1418,55	2446,01	108,46	122,21	-11,25
P 11 - RB 86-7515	154,76	1066,10	1421,46	108,33	112,03	-3,30
P 12 - RB 86-7515	270,63	1589,06	3099,87	112,35	122,76	-8,48
P 13 - RB 86-7515	173,10	1173,17	1638,05	114,15	124,04	-7,97
P 14 - RB 86-7515	236,22	1454,64	2258,13	135,36	141,58	-4,39
P 15 - RB 86-7515	235,70	1852,09	2347,19	176,04	161,92	8,72
P 16 - RB 86-7515	292,04	1497,20	3371,60	97,21	84,51	15,03
P 17 - RB 86-7515	198,18	992,96	2289,14	63,52	53,21	19,38
P 18 - RB 86-7515	227,97	1503,01	2226,52	139,07	129,50	7,39
P 19 - RB 86-7515	203,29	968,83	2281,31	62,94	65,39	-3,75
P 20 - RB 86-7515	194,66	1043,86	1980,15	84,21	92,29	-8,76
P 21 - RB 86-7515	132,48	906,05	1600,39	63,51	80,85	-21,45
P 22 - RB 86-7515	148,14	1052,64	1273,39	117,33	98,50	19,12
P 23 - RB 86-7515	155,27	1080,22	1485,12	104,47	111,37	-6,20
P 24 - RB 86-7515	189,48	1124,85	2199,66	78,38	84,28	-7,00
P 25 - RB 86-7515	219,20	1513,70	2598,09	109,41	106,01	3,21

P_{max} (t ha⁻¹) – produtividade máxima da cultura; ETc (mm) – evapotranspiração da cultura; ETm (mm) – evapotranspiração máxima da cultura; P (t ha⁻¹) – produtividade estimada; P_{obs} (t ha⁻¹) – produtividade observada; ERP (%) – erro relativo percentual.

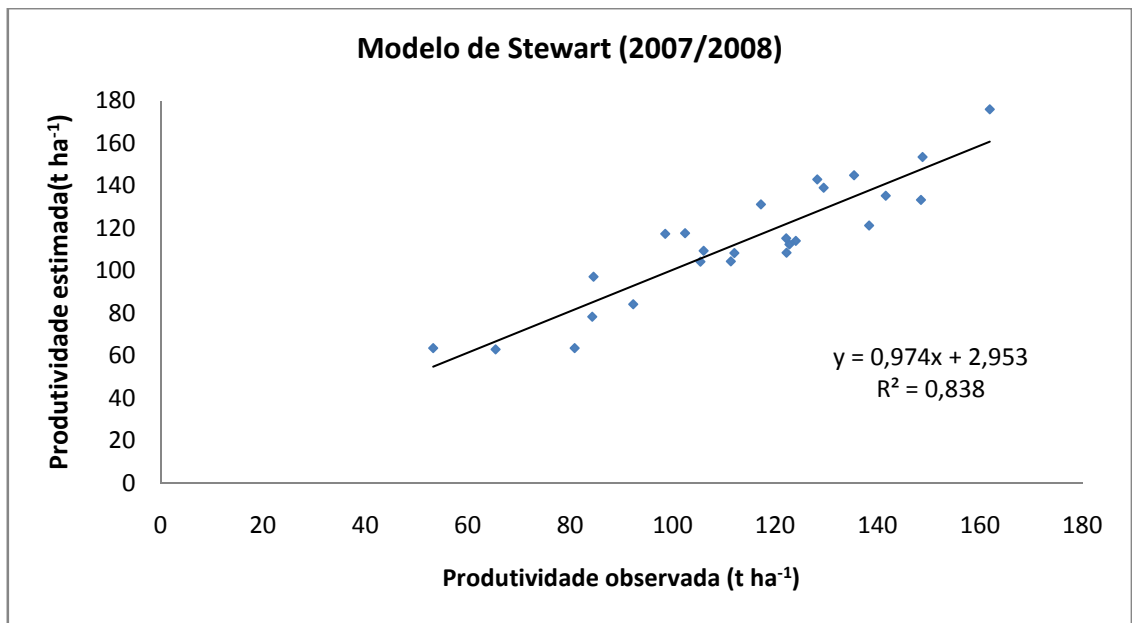


Figura 6 - Produtividade real da safra 2007/2008 estimada pelo modelo de Stewart.

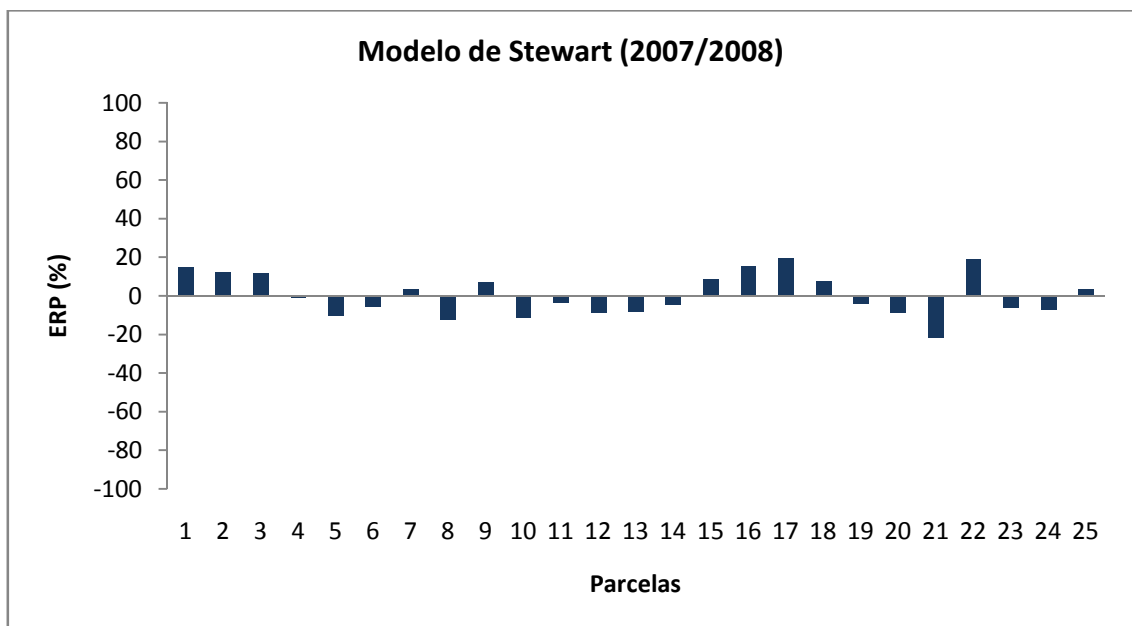


Figura 7 - ERP da produtividade real da safra 2007/2008 estimada pelo modelo de Stewart.

Tabela 11 - Análise descritiva do modelo de Stewart da safra 2007/2008

	Estimados	Observados	MAE	ERP
Média	113,58	113,47	10,10	-
Mínimo	62,94	53,21	-	-1,12
Máximo	176,04	161,92	-	-21,45
Desvio Padrão	28,48	26,75	-	-

O teste-t pareado, para avaliar se existe diferença entre as médias de produtividade estimada e observada, não demonstrou diferença significativa ($p = 0,962602$), com 5% de significância.

A Tabela 12 apresenta os resultados da produtividade estimada pelo modelo de Stewart da safra 2008/2009. O maior e o menor ERP foram de -16,7% na parcela 22 e -0,16% na parcela 21, respectivamente. Na Tabela 13 estão apresentados os resultados da P_{max} estimada pelo MZA.

De acordo com a Tabela 14, a média da produtividade estimada foi de 121,39 t ha⁻¹ e de 121,81 t ha⁻¹ para produtividade observada em campo e o MAE de 7,92. O teste-t pareado não demonstrou diferença significativa ($p = 0,817916$), com 5% de significância.

Para estimar a P_{max} , considerou y_m igual a 65 kg ha⁻¹ h⁻¹, cL igual a 0,5 e cH igual a 1,00 em todas as parcelas. Os resultados da P_{max} estimado pelo MZA estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 12 - Produtividade real da safra 2008/2009 estimada pelo modelo de Stewart

Parcela	P _{max}	ETc	ETm	P	P _{obs}	ERP
P 01 - RB 86-7515	170,62	1141,42	1363,38	128,42	127,02	1,10
P 02 - RB 86-7515	202,76	1398,71	1795,61	148,98	139,39	6,88
P 03 - RB 86-7515	199,22	1358,26	1791,85	141,37	156,48	-9,66
P 04 - RB 86-7515	205,36	1404,4	1787,92	152,5	140,04	8,90
P 05 - RB 86-7515	182,81	1300,46	1622,17	139,3	122,85	13,39
P 06 - RB 86-7515	195,59	1336,84	2055,04	113,56	119,28	-4,80
P 07 - RB 86-7515	195,69	1376,17	1698,8	151,09	161,76	-6,60
P 08 - RB 86-7515	158,36	935,91	1203,91	116,06	121,24	-4,27
P 09 - RB 86-7515	207,39	1325,38	1814,06	140,35	134,94	4,01
P 10 - RB 86-7515	195,13	1382,93	1741,07	146,96	155,04	-5,21
P 11 - RB 86-7515	149,18	921,98	1090,91	121,46	120,28	0,98
P 12 - RB 86-7515	174,55	1192,36	1542,38	127,02	136,42	-6,89
P 13 - RB 86-7515	150,37	1028,16	1289,29	113,82	117,57	-3,19
P 14 - RB 86-7515	178,16	1255,89	1580,38	134,27	123,56	8,67
P 15 - RB 86-7515	204,33	1609,98	1843,27	173,3	168,5	2,85
P 16 - RB 86-7515	151,7	785,07	1138,19	95,22	105,81	-10,01
P 17 - RB 86-7515	141,67	785,29	1182,55	84,56	99,63	-15,13
P 18 - RB 86-7515	121,78	729,95	933,83	89,88	102,93	-12,68
P 19 - RB 86-7515	145,09	861,38	1041,13	115,03	114,34	0,60
P 20 - RB 86-7515	185,39	1215,82	1661,96	125,67	116,47	7,90
P 21 - RB 86-7515	148,67	890,39	1085,07	116,66	116,85	-0,16
P 22 - RB 86-7515	136,83	640,78	988,38	79,09	94,95	-16,70
P 23 - RB 86-7515	149,68	849,57	1101,56	108,59	97,69	11,16
P 24 - RB 86-7515	136,83	757,71	988,38	98,51	89,06	10,61
P 25 - RB 86-7515	150,68	807,8	1127,81	99,37	96,73	2,73
P 26 - RB 86-7515	150,21	899,81	1103,67	116,91	116,24	0,58
P 27 - RB 86-7515	143,5	786,98	1057,28	99,48	93,84	6,01

P_{max} (t ha⁻¹) – produtividade máxima da cultura; ETc (mm) – evapotranspiração da cultura; ETm (mm) – evapotranspiração máxima da cultura; P (t ha⁻¹) – produtividade estimada; P_{obs} (t ha⁻¹) – produtividade observada; ERP (%) – erro relativo percentual.

Tabela 13 - Análise descritiva do modelo de Stewart da safra 2008/2009

	Estimados	Observados	MAE	ERP
Média	121,39	121,81	7,92	-
Mínimo	79,09	89,06	-	-0,16
Máximo	173,30	168,50	-	-16,70
Desvio-padrão	23,21	21,66	-	-

Tabela 14 - Produtividade máxima da safra 2007/2008 estimada pelo Método da Zona Agroecológica

Parcela	G	F	Rse	Tm	yc	yon	P _{max}
P 01 - RB 86-7515	332	0,4589	346,81	24,76	414,64	220,37	170,62
P 02 - RB 86-7515	395	0,4666	350,24	24,72	417,19	221,90	202,76
P 03 - RB 86-7515	388	0,4669	350,36	24,66	417,38	222,01	199,22
P 04 - RB 86-7515	400	0,4685	351,10	24,64	417,97	222,37	205,36
P 05 - RB 86-7515	356	0,4619	348,14	24,62	415,51	220,89	182,81
P 06 - RB 86-7515	381	0,4642	349,17	24,74	416,31	221,36	195,59
P 07 - RB 86-7515	381	0,4658	349,88	24,54	417,11	221,85	195,69
P 08 - RB 86-7515	322	0,4650	349,50	24,44	416,98	221,76	158,36
P 09 - RB 86-7515	404	0,4686	351,13	24,65	417,97	222,37	207,39
P 10 - RB 86-7515	380	0,4657	349,85	24,63	416,97	221,76	195,13
P 11 - RB 86-7515	290	0,4621	348,24	24,32	416,05	221,22	149,18
P 12 - RB 86-7515	340	0,4591	346,93	24,71	414,36	220,22	174,55
P 13 - RB 86-7515	293	0,4486	342,38	25,19	410,26	217,72	150,37
P 14 - RB 86-7515	347	0,4604	347,47	24,67	414,87	220,52	178,16
P 15 - RB 86-7515	398	0,4683	350,98	24,65	417,87	222,32	204,33
P 16 - RB 86-7515	304	0,4687	351,20	24,45	418,38	222,59	151,70
P 17 - RB 86-7515	276	0,4437	340,27	25,31	408,49	216,66	141,67
P 18 - RB 86-7515	237	0,4311	335,06	25,41	404,30	214,16	121,78
P 19 - RB 86-7515	282	0,4603	347,43	24,30	415,41	220,83	145,09
P 20 - RB 86-7515	361	0,4627	348,50	24,60	415,85	221,08	185,39
P 21 - RB 86-7515	289	0,4619	348,14	24,32	415,98	221,17	148,67
P 22 - RB 86-7515	288	0,4821	357,28	24,49	423,30	225,58	136,83
P 23 - RB 86-7515	291	0,4651	349,56	24,33	417,11	221,84	149,68
P 24 - RB 86-7515	288	0,4821	357,28	24,49	423,30	225,58	136,83
P 25 - RB 86-7515	315	0,4693	351,47	24,45	418,61	222,72	150,68
P 26 - RB 86-7515	292	0,4626	348,44	24,33	416,21	221,31	150,21
P 27 - RB 86-7515	292	0,4754	354,21	24,49	420,83	224,06	143,50

G (dias) – duração do ciclo da cultura; F – fração do dia em que o sol fica encoberto por nuvens; Rse (cal cm⁻² d⁻¹) – radiação efetiva de ondas curtas para dias claros; Tm (°C) – temperatura média; yc (kg ha⁻¹ d⁻¹) – taxa de produção bruta de matéria seca da cultura-padrão em dia sem nuvens; yon (kg ha⁻¹ d⁻¹) – taxa de produção bruta de matéria seca da cultura-padrão em dia completamente nublado; P_{max} (t ha⁻¹) – produtividade máxima da cultura.

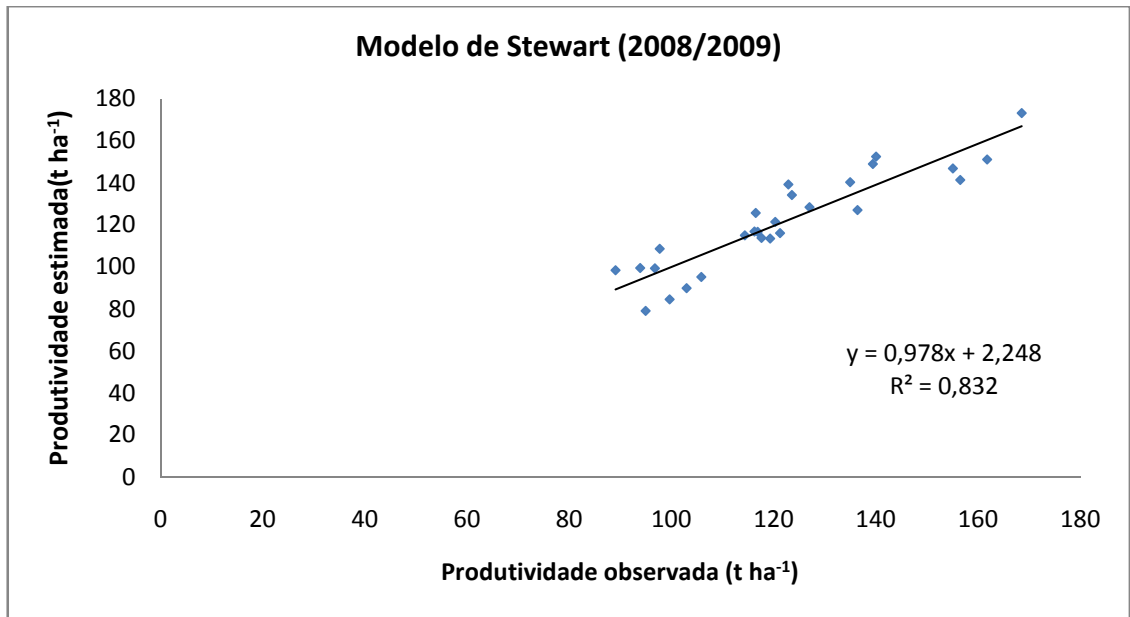


Figura 8 - Produtividade real da safra 2008/2009 estimada pelo modelo de Stewart.

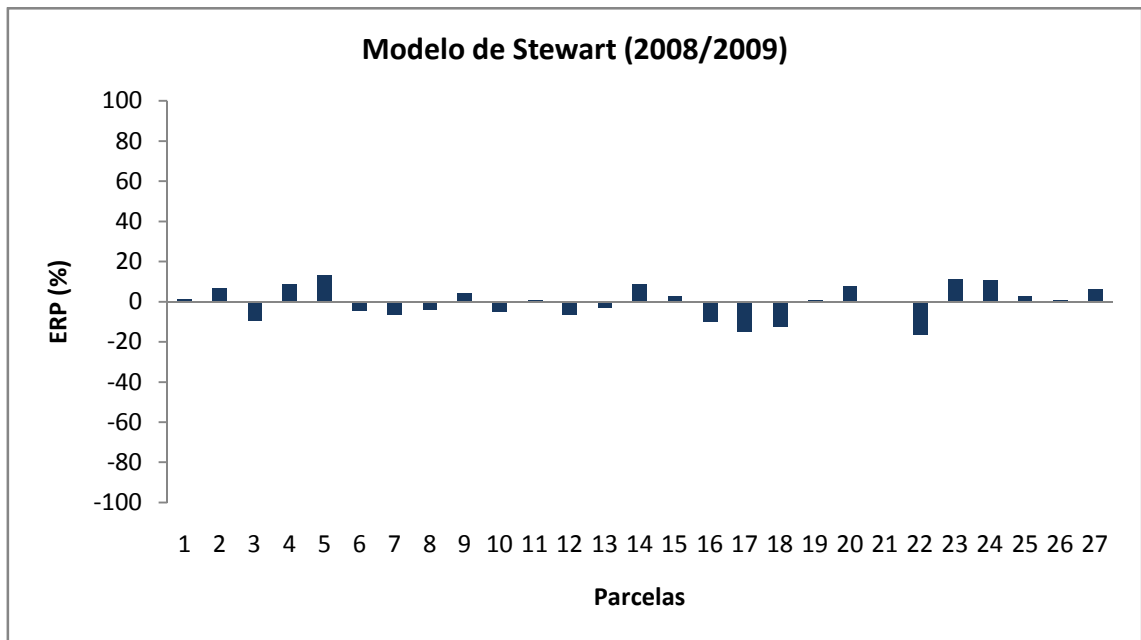


Figura 9 - ERP da produtividade real da safra 2008/2008 estimada pelo modelo de Stewart.

4.2. Modelo de Mantovani

O modelo de Mantovani requer como dado de entrada a P_{max} , que também foi estimada pelo MZA. A P_{max} utilizada para esta simulação foi a mesma estimada pelo modelo de Stewart, safras 2007/2008 e 2008/2009, levando em consideração que foi avaliado os mesmo dados.

O resultado da safra 2007/2008 está apresentado na Tabela 15. O coeficiente de déficit (Cd) é calculado em função da lâmina bruta (Lb), lâmina requerida (Lr) e do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). Os valores de CUC informado pela SADA Agro-Energia foram de 90% para todos os pivôs centrais de todas as parcelas.

De acordo com a Tabela 16, o maior e menor ERP foram de 260,83% na parcela 17 e 16,45% na parcela 6, respectivamente. A média da produtividade estimada foi de $198,13 \text{ t ha}^{-1}$ e de $113,47 \text{ t ha}^{-1}$ para produtividade observada em campo e o MAE de 84,66. A diferença entre as produtividades estimadas e observadas e o ERP de cada parcela pode ser visualizado pelas Figuras 10 e 11. Nota-se que todas as produtividades estimadas pelo modelo de Mantovani superestimaram todas as produtividades observadas em campo. O teste-t pareado demonstrou diferença significativa ($p = 4,76479 \times 10^{-10}$), com 5% de significância.

Analisando o gráfico da Figura 12, nota-se que houve pouca diferença entre a produtividade estimada e máxima, o que não aconteceu com a produtividade observada em campo. Quando o Cd é igual a zero a produtividade estimada atinge a sua máxima, não quantificando déficit de água no solo. De acordo com os dados de Cd apresentado na Tabela 15, todos foram baixos, sendo o maior igual a 0,063 na Parcela 4.

Tabela 15 - Produtividade real da safra 2007/2008 estimada pelo modelo de Mantovani

Parcela	Cd	p	Lr	Lb	P	P _{obs}	ERP
P 01 - RB 86-7515	0,062	0,032	1199,92	1667,63	159,78	102,42	56,00
P 02 - RB 86-7515	0,039	0,151	1648,50	1992,47	226,25	117,21	93,03
P 03 - RB 86-7515	0,037	0,132	1535,97	1823,84	251,85	128,19	96,47
P 04 - RB 86-7515	0,063	0,016	1033,65	1454,09	142,71	105,39	35,41
P 05 - RB 86-7515	0,035	0,168	1661,34	1937,65	219,54	148,49	47,85
P 06 - RB 86-7515	0,061	0,022	1114,52	1542,88	142,26	122,16	16,45
P 07 - RB 86-7515	0,038	0,115	1632,00	1957,46	263,05	148,79	76,79
P 08 - RB 86-7515	0,037	0,155	1499,50	1786,52	214,86	138,36	55,29
P 09 - RB 86-7515	0,048	0,083	1521,50	1937,99	216,52	135,40	59,91
P 10 - RB 86-7515	0,033	0,186	1418,55	1624,21	211,62	122,21	73,16
P 11 - RB 86-7515	0,048	0,164	1066,10	1359,03	147,35	112,03	31,53
P 12 - RB 86-7515	0,032	0,127	1589,06	1786,66	261,57	122,76	113,07
P 13 - RB 86-7515	0,062	0,015	1173,17	1636,13	160,41	124,04	29,32
P 14 - RB 86-7515	0,040	0,142	1454,64	1763,57	226,53	141,58	60,00
P 15 - RB 86-7515	0,038	0,107	1852,09	2223,81	226,00	161,92	39,58
P 16 - RB 86-7515	0,032	0,119	1497,20	1623,37	282,18	84,51	233,90
P 17 - RB 86-7515	0,033	0,203	992,96	1066,01	192,00	53,21	260,83
P 18 - RB 86-7515	0,039	0,133	1503,01	1815,55	218,65	129,50	68,84
P 19 - RB 86-7515	0,041	0,187	968,83	992,23	195,11	65,39	198,38
P 20 - RB 86-7515	0,038	0,200	1043,86	1250,06	187,55	92,29	103,22
P 21 - RB 86-7515	0,035	0,240	906,05	1058,69	128,25	80,85	58,63
P 22 - RB 86-7515	0,050	0,169	1052,64	1363,92	140,70	98,50	42,84
P 23 - RB 86-7515	0,060	0,044	1080,22	1486,97	144,56	111,37	29,80
P 24 - RB 86-7515	0,033	0,201	1124,85	1283,45	183,52	84,28	117,75
P 25 - RB 86-7515	0,039	0,148	1513,70	1822,12	210,51	106,01	98,58

Cd (adimensional) – coeficiente de déficit; p (adimensional) – fração da evapotranspiração máxima da cultura suprida por outras fontes de água diferentes da irrigação; Lr (mm) – lâmina requerida; Lb (mm) – lâmina de irrigação aplicada e precipitação; P (t ha⁻¹) – produtividade estimada; P_{obs} (t ha⁻¹) – produtividade observada; ERP (%) – erro relativo percentual.

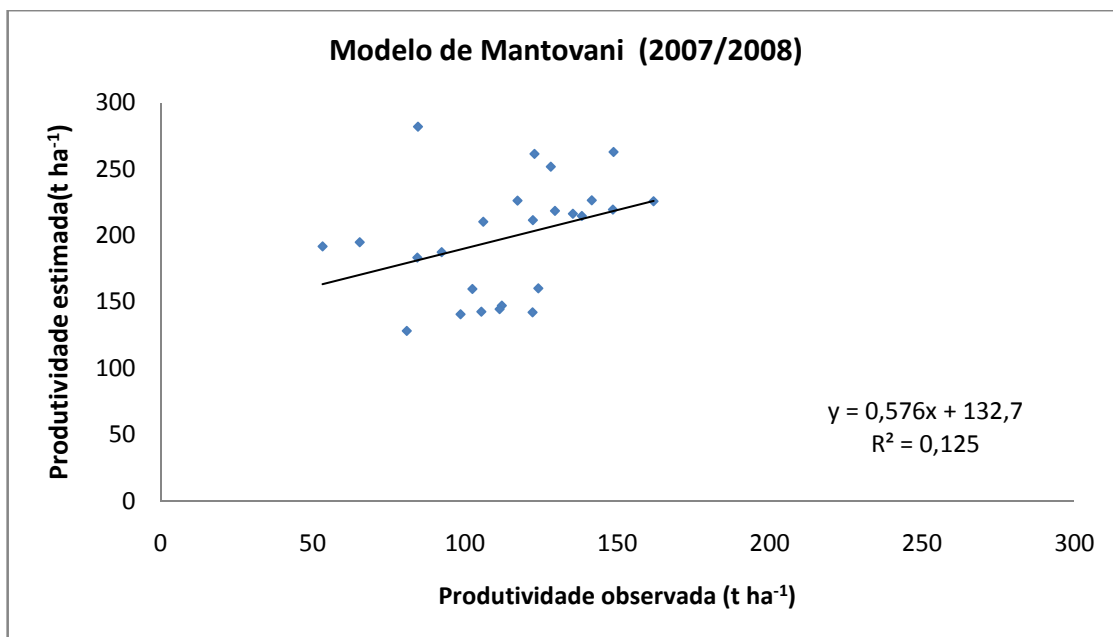


Figura 10 - Produtividade real da safra 2007/2008 estimada pelo modelo de Mantovani.

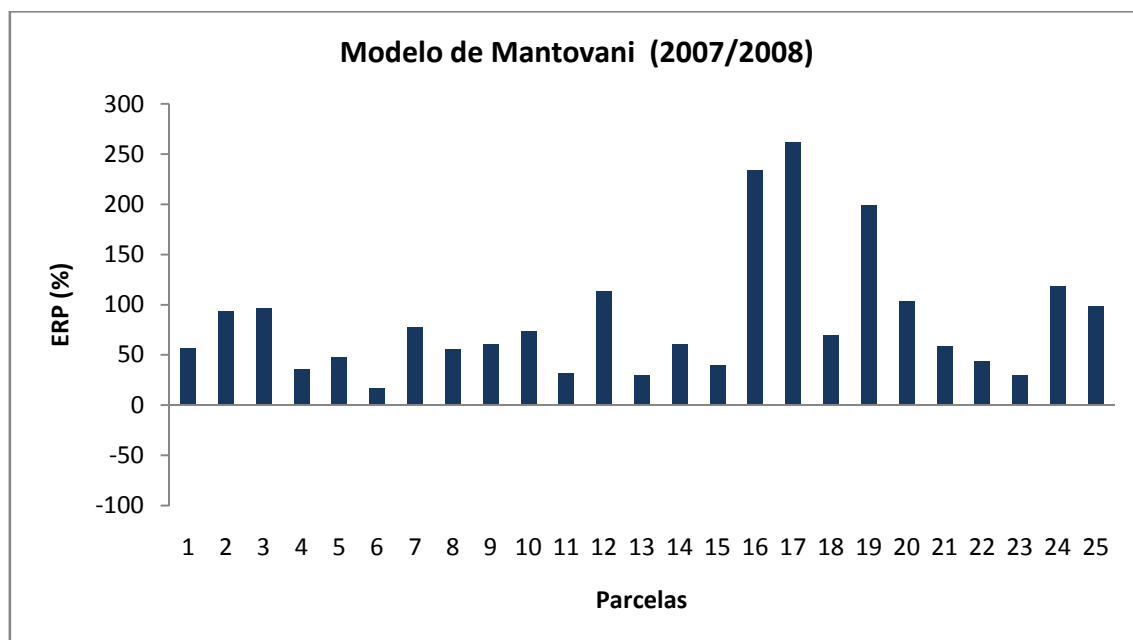


Figura 11 - ERP da produtividade real da safra 2007/2008 estimada pelo modelo de Mantovani.

Tabela 16 - Análise descritiva do modelo de Mantovani da safra 2007/2008

	Estimados	Observados	MAE	ERP
Média	198,13	113,47	84,66	-
Mínimo	128,25	53,21	-	16,45
Máximo	282,18	161,92	-	260,83
Desvio-padrão	43,53	26,75	-	-

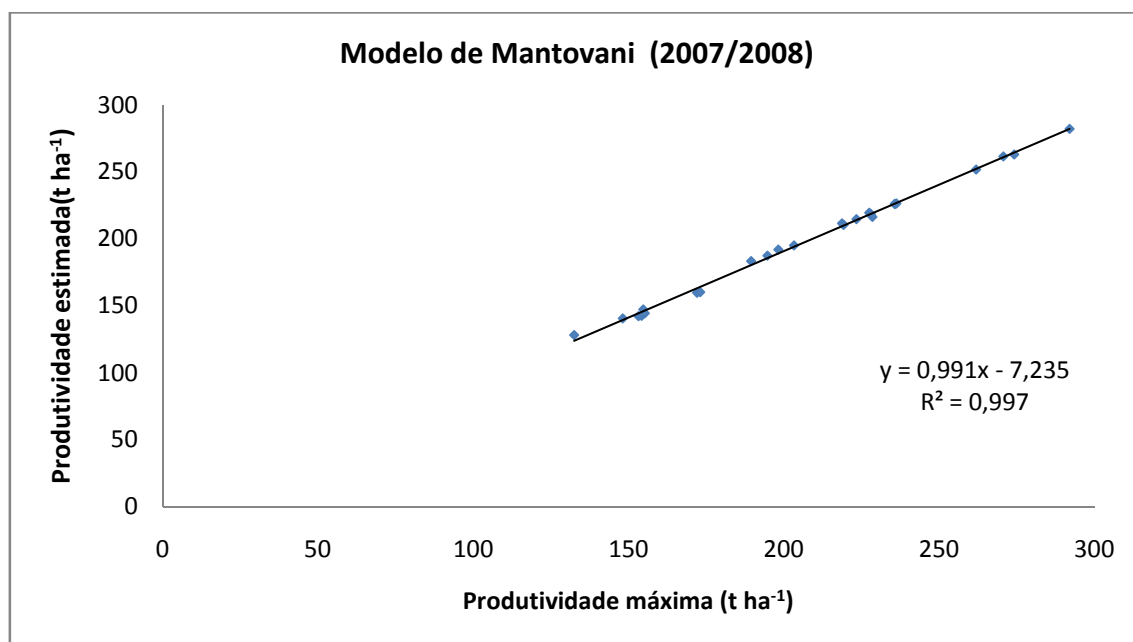


Figura 12 - Produtividade estimada e máxima pelo modelo de Mantovani da safra 2007/2008.

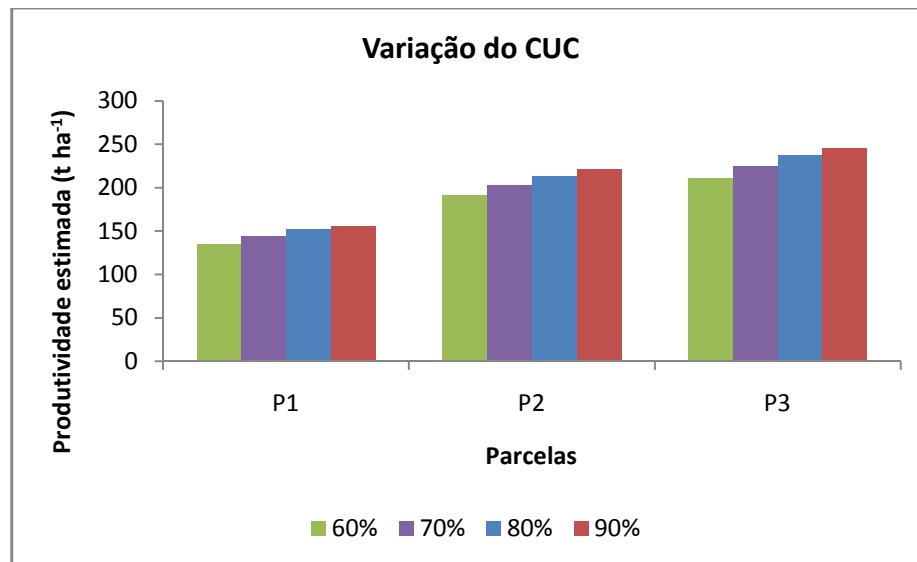


Figura 13 - Produtividade real variando o CUC.

Como todas as estimativas foram similares, comparando-se com a produtividade máxima, foram selecionadas as parcelas, 1, 2 e 3 para simular, novamente, a produtividade real variando o CUC. A Figura 13 demonstra a estimativa da produtividade variando o CUC em 60%, 70%, 80% e 90% de uniformidade. Os valores de p , L_r , e L_b foram mantidos os mesmos. Nota-se que o CUC é um fator determinante no coeficiente de déficit, entretanto não influenciou diretamente na estimativa, pois o menor CUC, de 60%, estimou a produtividade da primeira, segunda e terceira parcela em 135,23, 190,65 e 210,47 t ha⁻¹, respectivamente, enquanto a produtividade observada em campo destas parcelas foi 102,42, 117,21 e 128,21 t ha⁻¹, respectivamente.

O modelo de Mantovani considera todos os valores de entrada como o total do ciclo, e para quantificar o Cd o modelo deveria calcular o CUC para todas as irrigações realizadas. A uniformidade de aplicação é fortemente influenciada pela velocidade do vento e outros fatores que envolvem o próprio equipamento de irrigação. Segundo Mantovani (1993), a maioria dos modelos que incluem uniformidade de distribuição de água normalmente apresenta um requerimento de dados de entrada que dificultam a sua utilização em nível de fazenda.

A Tabela 17 apresenta os resultados da produtividade estimada pelo modelo de Mantovani da safra 2008/2009. O maior e o menor ERP foram de 46,17% na parcela 22 e 16,32% na parcela 26, respectivamente. Os resultados da P_{max} , estimada pelo MZA, estão apresentada na Tabela 14.

Tabela 17 - Produtividade real da safra 2008/2009 estimada pelo modelo de Mantovani

Parcela	Cd	p	Lr	Lb	P	P _{obs}	ERP
P 01 - RB 86-7515	0,112	0,096	1082,37	1753,66	155,75	127,02	20,65
P 02 - RB 86-7515	0,062	0,000	1398,71	1954,83	187,58	139,39	31,30
P 03 - RB 86-7515	0,062	0,000	1358,26	1886,57	184,52	156,48	31,75
P 04 - RB 86-7515	0,066	0,029	1404,40	2007,95	189,64	140,04	29,80
P 05 - RB 86-7515	0,072	0,079	1300,46	1943,67	168,36	122,85	20,09
P 06 - RB 86-7515	0,061	0,086	1336,84	1848,96	182,54	119,28	32,33
P 07 - RB 86-7515	0,073	0,000	1376,17	2077,93	178,61	161,76	20,74
P 08 - RB 86-7515	0,079	0,063	935,91	1496,14	144,29	121,24	24,93
P 09 - RB 86-7515	0,059	0,078	1325,38	1813,99	193,80	134,94	42,49
P 10 - RB 86-7515	0,066	0,000	1382,93	1976,96	179,76	155,04	25,39
P 13 - RB 86-7515	0,068	0,078	1028,16	1489,68	135,51	117,57	12,66
P 14 - RB 86-7515	0,059	0,173	1255,89	1712,14	160,69	123,56	17,79
P 15 - RB 86-7515	0,060	0,000	1609,98	2218,68	139,14	168,50	18,35
P 16 - RB 86-7515	0,078	0,059	785,07	1246,31	167,81	105,81	35,81
P 17 - RB 86-7515	0,061	0,316	785,29	1083,76	189,56	99,63	12,50
P 18 - RB 86-7515	0,073	0,260	729,95	1105,50	138,29	102,93	30,70
P 19 - RB 86-7515	0,084	0,102	861,38	1456,29	134,64	114,34	35,14
P 20 - RB 86-7515	0,064	0,113	1215,82	1714,76	113,88	116,47	10,64
P 21 - RB 86-7515	0,083	0,000	890,39	1486,68	131,89	116,85	15,35
P 22 - RB 86-7515	0,076	0,045	640,78	993,36	172,81	94,95	48,37
P 23 - RB 86-7515	0,083	0,000	849,57	1413,28	133,83	97,69	14,53
P 24 - RB 86-7515	0,063	0,130	757,71	1066,10	124,96	89,06	31,61
P 25 - RB 86-7515	0,078	0,081	807,80	1280,99	134,80	96,73	37,99
P 26 - RB 86-7515	0,084	0,000	899,81	1520,56	127,78	116,24	43,48
P 27 - RB 86-7515	0,083	0,000	786,98	1311,56	137,69	93,84	42,34
P 11 - RB 86-7515	0,082	0,069	921,98	1520,44	135,01	120,28	16,15
P 12 - RB 86-7515	0,069	0,040	1192,36	1746,72	129,20	136,42	37,68

Cd (adimensional) – coeficiente de déficit; p (adimensional) – fração da evapotranspiração máxima da cultura suprida por outras fontes de água diferentes da irrigação; Lr (mm) – lâmina requerida; Lb (mm) – lâmina de irrigação aplicada e precipitação; P (t ha⁻¹) – produtividade estimada; P_{obs} (t ha⁻¹) – produtividade observada; ERP (%) – erro relativo percentual.

De acordo com a Tabela 18, o maior e menor ERP foram de 53,03% na parcela 6 e 10,42% na parcela 7, respectivamente. A média da produtividade estimada foi de 154,53 t ha⁻¹ e de 121,47 t ha⁻¹ para produtividade observada em campo e o MAE de 32,72. A diferença entre as produtividades estimadas e observadas e o ERP de cada parcela pode ser visualizado pelas Figuras 14 e 15. Nota-se que todas as produtividades estimadas pelo modelo de Mantovani superestimaram todas as produtividades observadas em campo, como aconteceu na safra 2007/2008. O teste-t pareado demonstrou diferença significativa ($p = 5,72935 \times 10^{-10}$), com 5% de significância.

Tabela 18 - Análise descritiva do modelo de Mantovani da safra 2008/2009

	Estimados	Observados	MAE	ERP
Média	154,53	121,81	32,72	-
Mínimo	113,88	89,06	-	10,42
Máximo	193,80	168,50	-	53,03
Desvio-padrão	24,79	21,66	-	-

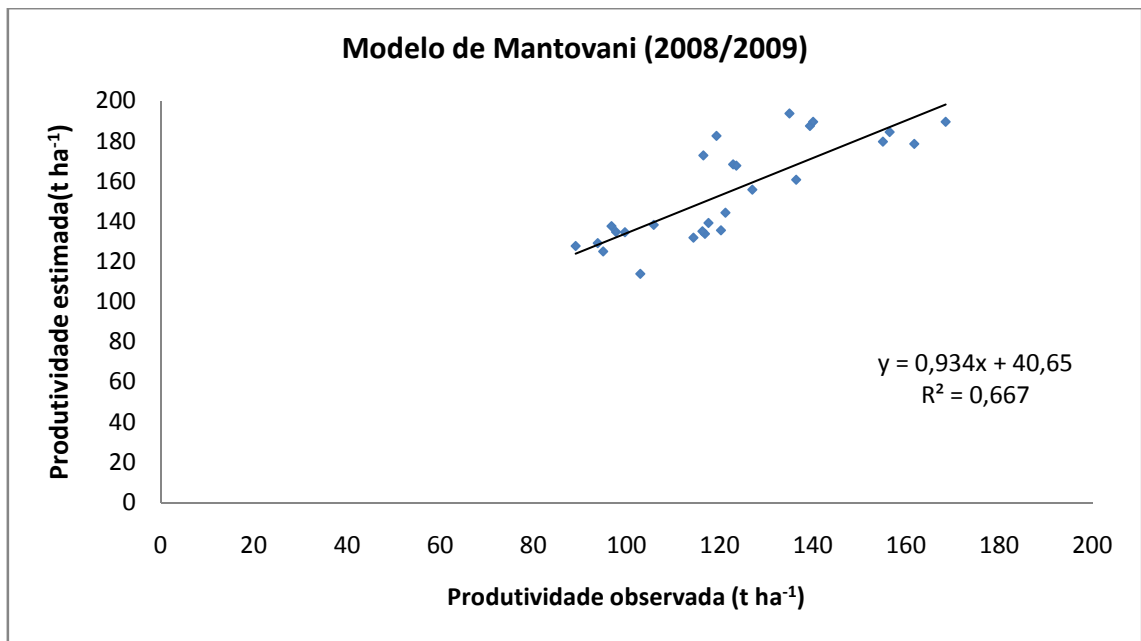


Figura 14 - Produtividade real da safra 2008/2009 estimada pelo modelo de Mantovani.

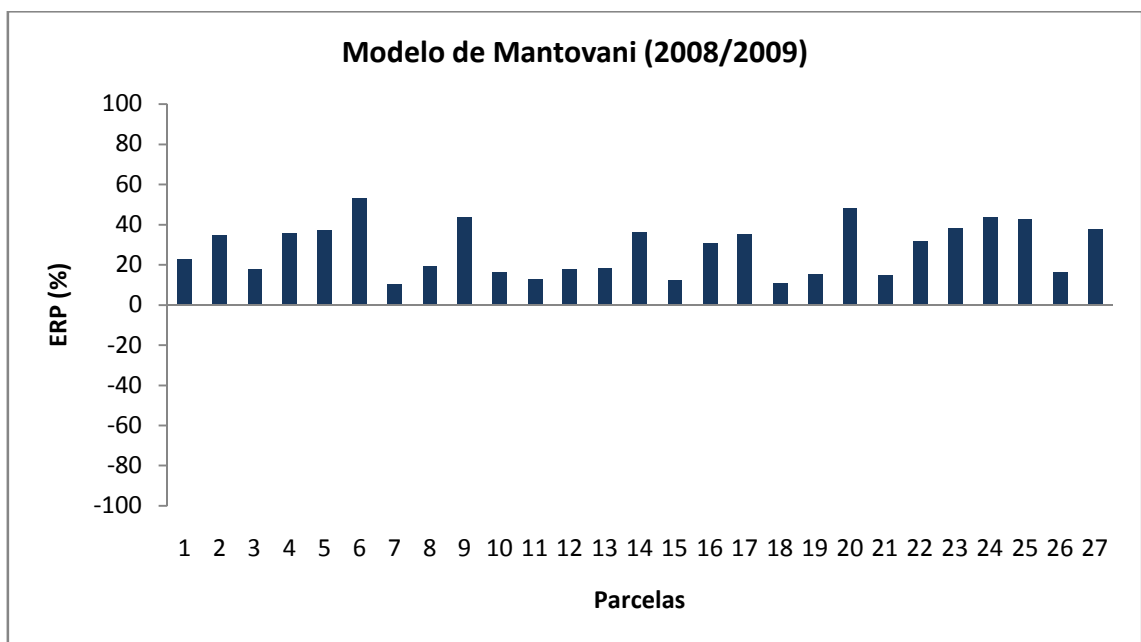


Figura 15 - ERP da produtividade real da safra 2008/2009 estimada pelo modelo de Mantovani.

Os valores de CUC foram iguais a 90% de uniformidade para todas as parcelas, como na safra anterior. Como aconteceu na estimativa da safra 2007/2008, houve pouca diferença entre a produtividade máxima e estimada, sendo demonstrado pela Figura 16.

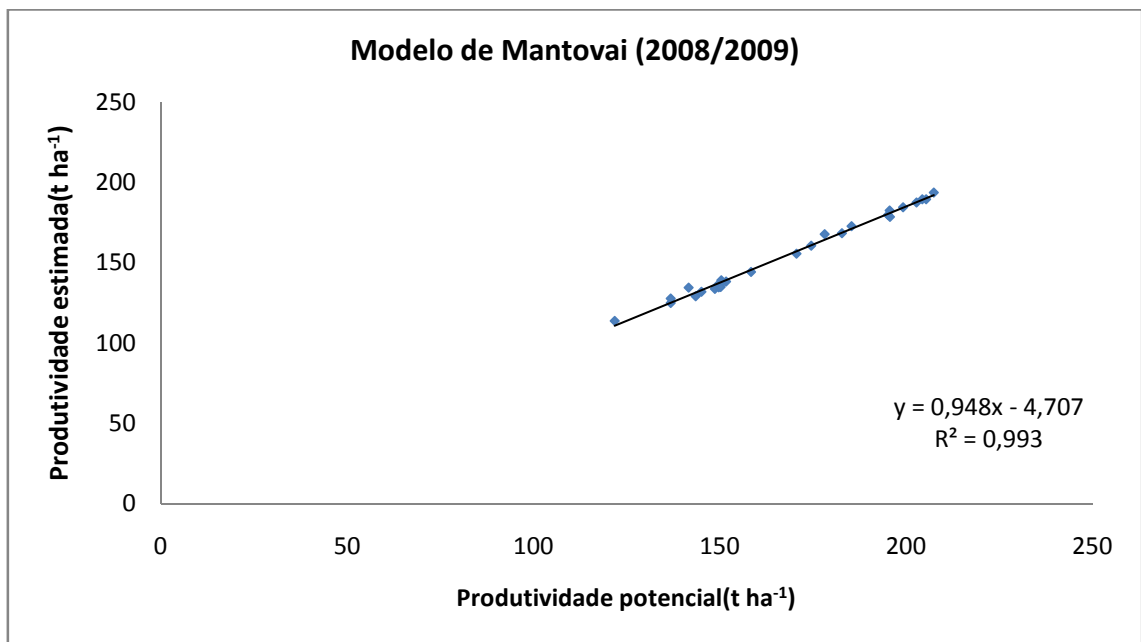


Figura 16 - Produtividade estimada e máxima pelo modelo de Mantovani da safra 2008/2009.

4.3. Regressão linear múltipla

O modelo de regressão linear múltipla selecionado neste trabalho está representado pela equação 44. A equação foi ajustada com dados da safra 2007/2008 e avaliado na safra 2008/2009 estimando a produtividade.

A equação 44 foi relacionada com as variáveis: irrigação total necessária (ITN), capacidade total de água no solo (CTA), água disponível no solo (AD), ETo, ETc e ETm. Na Figura 17, seguem os histogramas cumulativos de cada variável selecionada, especificando os valores máximos de divergência de Kolmogorov-Smirnov.

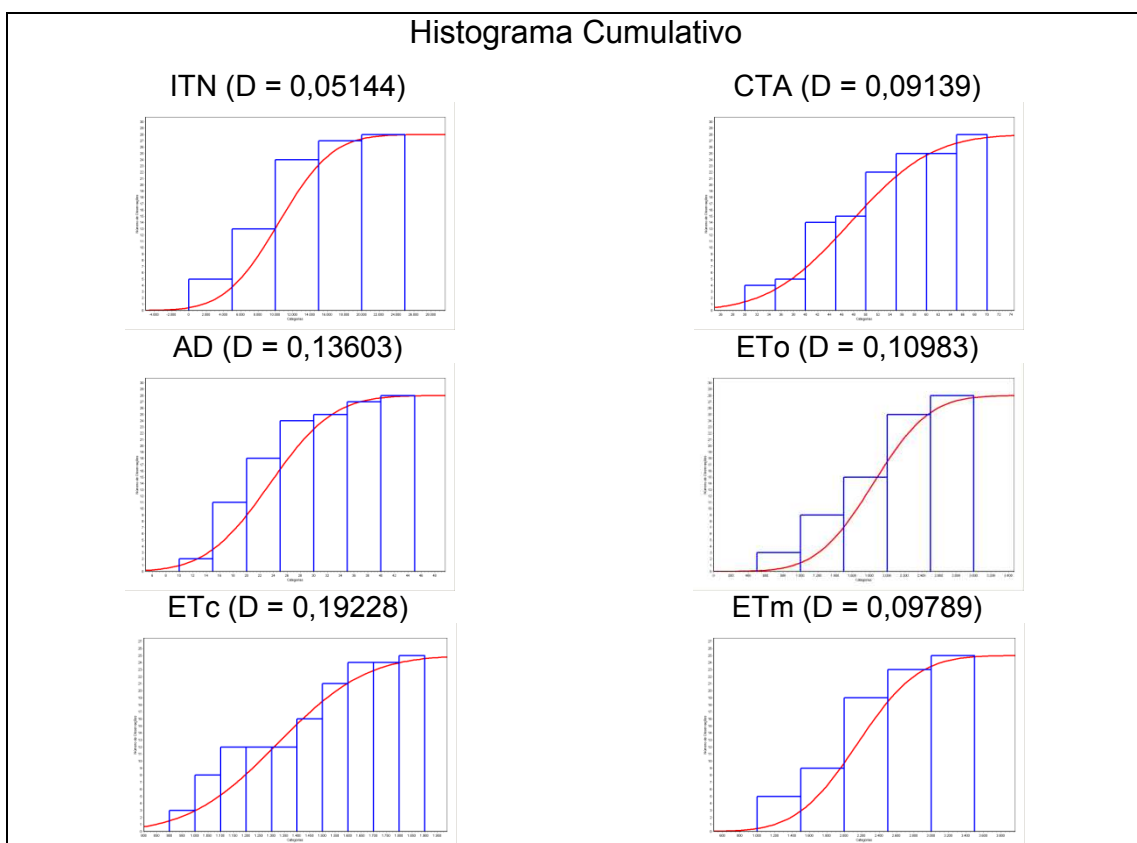


Figura 17 - Histograma cumulativo das variáveis da equação 44.

Todas as variáveis apresentaram valores de divergência inferiores ao valor crítico ($D_{(25; 0,05)} = 0,25$), indicando que todas são provenientes de uma distribuição normal, de acordo com o teste de *Kolmogorov-Smirnov*. Na Tabela 19, segue a ANOVA do ajuste da equação 44 sobre os dados da safra 2007/2008.

A Tabela 20 apresenta os resultados da produtividade estimada pela equação 44 da safra 2008/2009. O maior e menor ERP foram de 15,35% na parcela 5 e 0,05% na parcela 18, respectivamente.

De acordo com a Tabela 21, a média da produtividade estimada foi de $122,41 \text{ t ha}^{-1}$ e de $121,81 \text{ t ha}^{-1}$ para produtividade observada em campo e o MAE de 4,19. O teste-t pareado não demonstrou diferença significativa ($p = 0,719694$), com 5% de significância.

Tabela 19 - ANOVA da equação 44

R ²	R ² Ajustado	Erro-padrão	Observações		
0,99664	0,99552	±1,96091	25		
ANOVA	GL	SQ	QM	F	F(5%)
Regressão	6	20547,4098	3424,568	890,6187	2,66
Resíduo	18	69,21281	3,84516		
Total	24	20616,6226			
Parâmetros	Variáveis	Estimativas	t calc.	t tab. (5%)	
β ₀	-	37,27891	6,93767	2,101	
β ₁	ITN	0,00356	6,36096		
β ₂	CTA	-1,82797	7,90492		
β ₃	AD	2,15951	7,31295		
β ₄	ET _o	0,03952	8,50835		
β ₅	ET _c	0,10847	16,2079		
β ₆	ET _m	-0,06779	12,10217		

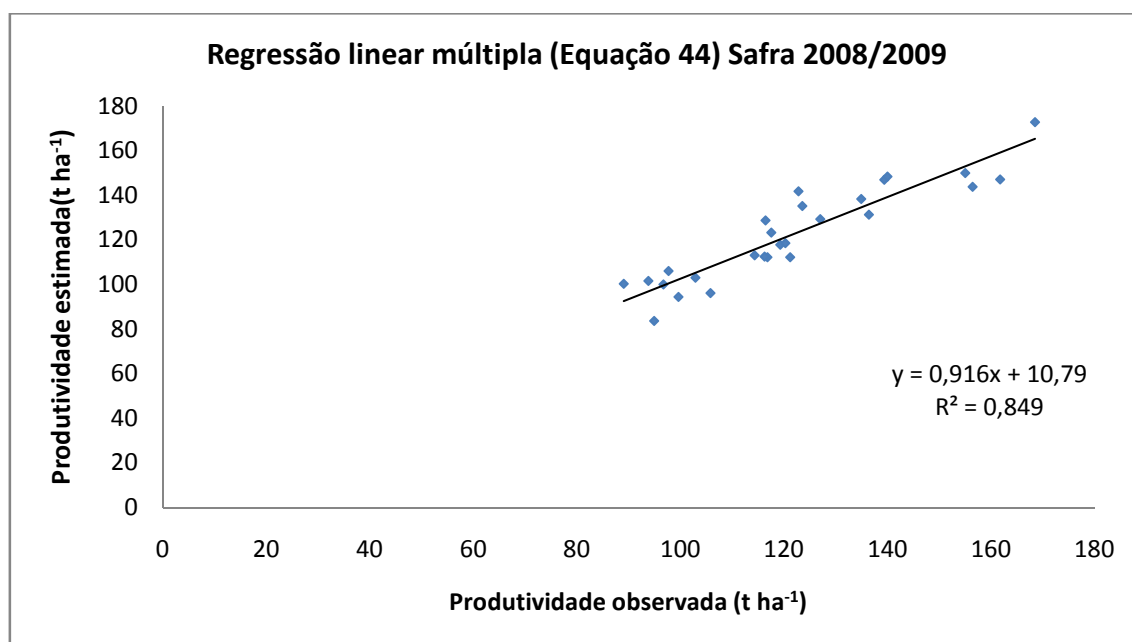


Figura 18 - Produtividade real da safra 2008/2009 estimada pela equação 44.

Tabela 20 - Produtividade real da safra 2008/2009 estimada pela equação 44

Parcela	ITN	CTA	AD	ETo	ETc	ETm	P	P _{obs}	ERP
P 01 - RB 86-7515	3225,23	43,49	35,87	1455,03	1082,37	1363,38	129,22	127,02	1,73
P 02 - RB 86-7515	2741,67	36,68	29,91	1827,34	1398,71	1795,61	146,81	139,39	5,32
P 03 - RB 86-7515	4478,25	50,43	40,07	1776,51	1358,26	1791,85	143,66	156,48	-8,19
P 04 - RB 86-7515	2741,49	36,69	30,22	1819,44	1404,40	1787,92	148,28	140,04	5,88
P 05 - RB 86-7515	3468,63	48,54	39,60	1624,11	1300,46	1622,17	141,71	122,85	15,35
P 06 - RB 86-7515	4221,54	30,20	20,39	1791,12	1336,84	2055,04	117,64	119,28	-1,37
P 07 - RB 86-7515	3002,12	39,42	32,22	1702,80	1376,17	1698,80	146,91	161,76	-9,18
P 08 - RB 86-7515	1909,24	29,83	24,22	1272,09	935,91	1203,91	112,04	121,24	-7,59
P 09 - RB 86-7515	3600,14	36,69	28,55	1839,05	1325,38	1814,06	138,17	134,94	2,39
P 10 - RB 86-7515	3892,58	54,43	45,14	1737,99	1382,93	1741,07	149,80	155,04	-3,38
P 11 - RB 86-7515	1818,53	43,42	37,66	1181,69	921,98	1090,91	118,47	120,28	-1,50
P 12 - RB 86-7515	3130,56	41,50	33,18	1572,28	1192,36	1542,38	131,14	136,42	-3,87
P 13 - RB 86-7515	2399,81	41,42	34,01	1401,51	1028,16	1289,29	123,08	117,57	4,69
P 14 - RB 86-7515	6448,98	55,15	38,66	1595,79	1255,89	1580,38	135,09	123,56	9,33
P 15 - RB 86-7515	2541,75	54,46	48,45	1809,91	1609,98	1843,27	172,63	168,50	2,45
P 16 - RB 86-7515	2579,56	29,82	21,98	1231,17	785,07	1138,19	96,08	105,81	9,20
P 17 - RB 86-7515	5229,51	52,02	35,30	1320,79	785,29	1182,55	94,27	99,63	5,38
P 18 - RB 86-7515	2411,88	51,90	42,67	1112,26	729,95	933,83	102,98	102,93	0,05
P 19 - RB 86-7515	1964,56	43,41	37,08	1141,88	861,38	1041,13	112,99	114,34	1,18
P 20 - RB 86-7515	3759,53	41,53	32,15	1647,87	1215,82	1661,96	128,53	116,47	10,35
P 21 - RB 86-7515	1444,10	29,81	25,26	1177,02	890,39	1085,07	112,03	116,85	4,12
P 22 - RB 86-7515	3202,28	34,38	23,55	1123,90	640,78	988,38	83,62	94,95	11,93
P 23 - RB 86-7515	1885,71	29,81	23,98	1193,58	849,57	1101,56	105,94	97,69	8,45
P 24 - RB 86-7515	2521,07	40,18	31,39	1123,90	757,71	988,38	100,21	89,06	12,52
P 25 - RB 86-7515	3249,15	40,24	30,11	1224,27	807,80	1127,81	99,88	96,73	3,26
P 26 - RB 86-7515	1484,47	29,81	25,17	1191,90	899,81	1103,67	112,32	116,24	3,37
P 27 - RB 86-7515	2434,10	40,21	31,85	1178,51	786,98	1057,28	101,50	93,84	8,16

ITN (mm) – irrigação total necessária; CTA (mm) – lâmina total disponível em um solo; AD (mm) – água disponível no solo; ETo (mm) – evapotranspiração de referência; ETc (mm) – evapotranspiração da cultura; ETm (mm) – evapotranspiração máxima da cultura; P (t ha⁻¹) – produtividade estimada; P_{obs} (t ha⁻¹) – produtividade observada; ERP (%) – erro relativo percentual.

Tabela 21 - Análise descritiva da equação 44 da safra 2008/2009

	Estimados	Observados	MAE	ERP
Média	122,41	121,81	4,19	-
Mínimo	83,62	85,49	-	0,05
Máximo	172,63	156,76	-	-14,72
Desvio-padrão	21,53	19,62	-	-

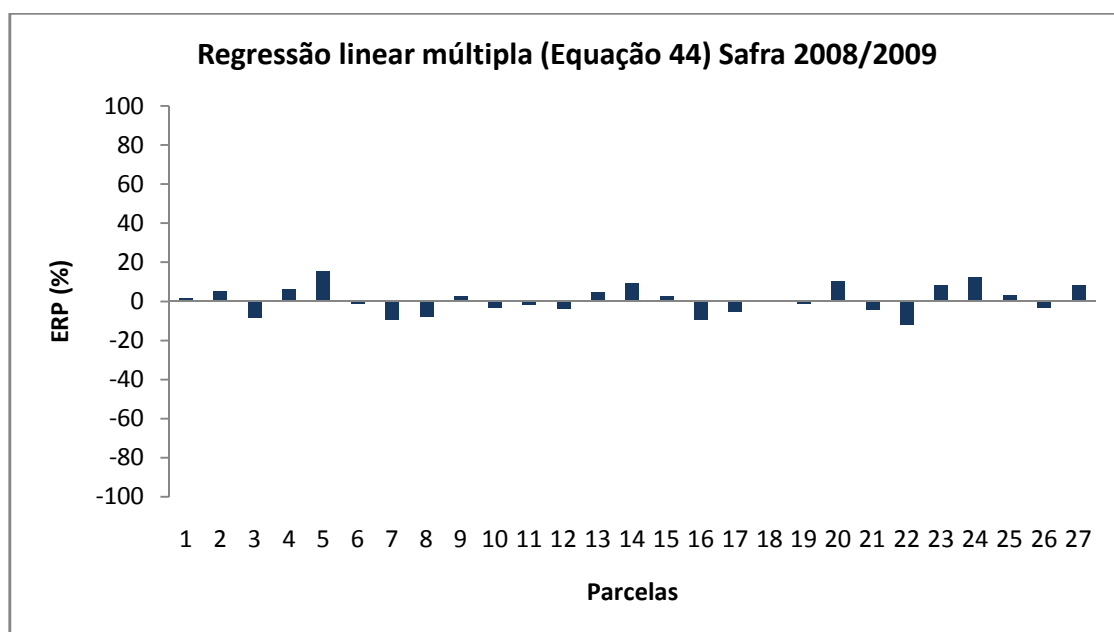


Figura 19 - ERP da produtividade real da safra 2008/2009 estimada pela equação 44.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pelo software Irriplus e com base nas condições em que foi realizado o presente trabalho, pode-se concluir sobre as funções de produção na cana-de-açúcar RB 86-7515 no município de Jaíba do estado de Minas Gérias, as seguintes considerações:

- As estimativas do modelo de Stewart nas safras 2007/2008 e 2008/2009 não apresentaram diferença significativa pelo teste-t pareado entre as médias de produtividade estimadas e observadas em campo;
- O modelo de Stewart na safra 2007/2008 apresentou erro médio absoluto (MAE) de 10,10 e na safra de 2008/2009 MAE de 7,92;
- As estimativas do modelo de Mantovani nas safras 2007/2008 e 2008/2009 apresentaram diferença significativa pelo teste-t pareado entre as médias de produtividade estimadas e observadas em campo e superestimou a produtividade observada em campo nas duas safras;
- O modelo de Mantovani na safra 2007/2008 apresentou MAE de 84,66 e na safra de 2008/2009 MAE de 32,72;
- O coeficiente de déficit, calculado por ciclo total, influenciou na superestimativa da produtividade em todas as parcelas, levando em consideração que deveria ser calculado por cada irrigação aplicada com a uniformidade de aplicação real;

- Não houve diferença significativa na estimativa de produtividade do modelo de Mantovani alterando o CUC para 80%, 70% e 60%;
- As estimativas da equação 44 na safra 2008/2009 gerada por regressão linear múltipla não apresentaram diferença significativa pelo teste-t pareado entre as médias de produtividade estimadas e observadas em campo, com MAE de 7,07;
- A inclusão de modelos de produtividade no software Irriplus demonstrou-se como uma eficiente ferramenta para estimar a produtividade da cana-de-açúcar, e como uma ótima contribuição para novas pesquisas científicas;
- A regressão linear múltipla apresentou como uma importante metodologia para demonstrar as variáveis que estão influenciando a produtividade da cana-de-açúcar e para desenvolver modelos de estimativa de produtividade agrícola.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL 2003. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP, 2003. 544 p.
- ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. et al. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 42-55.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Brasília, 2008.
- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N.A. Climatologia e a cana-de-açúcar. In: PLANALSUCAR. **Coordenadoria Regional Sul – COSUL**. Araras, 1977. p. 1-22.
- BERNARDO, S. Manejo da irrigação na cana-de-açúcar. **Alcoolbrás**, São Paulo, n. 106, p. 72-80, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília, 2009. 160 p.
- BRAY, S.C. **A cultura da cana-de-açúcar no Vale do Paranapanema**. 1980. 170 p. Tese (Doutorado em História) –Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, segundo levantamento de setembro de 2009. Brasília, 2009. 14 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Primeiro levantamento da safra brasileira cana-de-açúcar**: 2009. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1cana_de_acucar.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2010.

COSTA, L.C. Agrometeorologia. In: MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. (Eds.). **Workshop Internacional sobre manejo integrado das culturas e recursos hídricos**. Brasília, 1998. p. 3-21.

COSTA, M.C.G. **Distribuição e crescimento radicular em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas**. 2005. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage, 24).

FACCIOLI, G.G. **Modelagem da uniformidade e da lâmina de irrigação na produtividade do feijoeiro**. 2002. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FAUSTO, B. **História do Brasil**. 12.ed. São Paulo: EDUSP, 2006.

FREITAS, P.S.L. **Uniformidade de aplicação de água, produtividade da cultura do milho e efeito da presença de diferentes resíduos de cultura da evaporação de água no solo**. 2000. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FRIZZONE, J.A. Manejo de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, 1998.

FRIZZONE, J.A.; MATIOLI, C.S.; REZENDE, R.; GOLÇALVES, A.C.A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., para região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEERE, I.D.; PEET, M.M. **Crop-water relations**. New York: John Willey, 1983. p. 445-479.

GEDAKEN, A. **Utilização do modelo Ceres-Maize para avaliar estratégias de irrigação em duas regiões de Minas Gerais**. 1998. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola** – julho. Rio de Janeiro, 2009.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 5.ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2002. 767 p.

LEAL, B.G. **Sistema computacional para avaliação e estimativa das produtividades potencial e real de culturas agrícolas**. 2000. 96 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LEAL, B.G.; FACCIOLI, G.G.; MANTOVANI, E.C. Generalização do coeficiente de déficit da função de produtividade de culturas agrícolas proposta por Mantovani (1993). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003.

LISSEON, S.N.; INMAN-BAMBER, N.G.; ROBERTSON, M.J.; KEATING, B.A. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Amsterdam: v. 92, p. 321-335, 2005.

MANTELATTO, P.E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana-de-açúcar por resfriamento**. 2005. 272 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP.

MANTOVANI, E.C. **Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: estimación de la evaporotranspiración e efectos de la uniformidad de la aplicación del riego sobre la producción de los cultivos**. 1993. 184 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidad de Cordoba, Cordoba, España.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2009. 357 p.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal-SP: Funep, 2001.

MOZAMBANI, A.E. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 11-18.

PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 431 p.

RAES, D. et al. **AquaCrop: the FAO crop model to simulate yield response to water**. Roma: FAO, 2009. 232 p.

SANTOS, M.A.L. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**. 2005. 100 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

SCARDUA R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 373-431.

SNEDECOR, G.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 7.ed. Ames: Iowa State University, 1982. 507 p.

SOARES, J.M.; VIEIRA, V.J.S.; G. JÚNIOR, W.F.; A. FILHO, A.A. Agrovale, uma experiência de 25 anos de irrigação da cana-de-açúcar na região do Submédio São Francisco. **Item**, n. 60, p. 55-62, 2003.

SOARES, L.H.B.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 14 p. (Circular Técnica, 27).

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry**. 3.ed. New York: W.H. Freeman and Company, 1995. 850 p.

STEWART, J.I.; HAGAN R.M. et al. **Optimizing crop production through control of water and salinity levels of soil**. Logan: Utah Water Research Laboratory, 1977. 191 p.

TARJUELO, J.M. et al. Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. **Agricultural Water Management**, v. 40, p. 315-331, 1999.

UNIÃO DAS INDÚSTRIAS DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Avaliação da safra 2009/2010**. São Paulo, 2009. 39 p.

VEIGA, C.F.M.; VIEIRA, J.R.; MORGADO, I.V. **Diagnóstico da cadeia produtiva da cana-de-açúcar do estado do Rio de Janeiro**. Relatório de Pesquisa, Rio de Janeiro: FAERJ, 2006, 107 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A

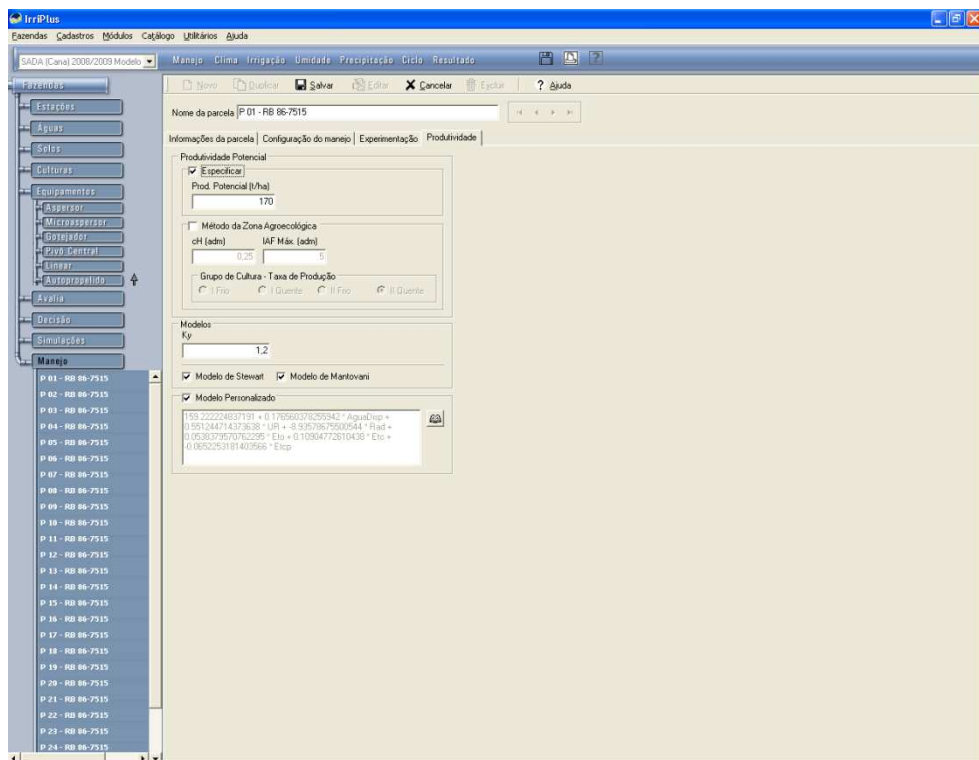


Figura 1A - Entrada de dados para estimativa de produtividade, Método da Zona Agroecológica, Modelo de Stewart, Modelo de Mantovani e modelos personalizados.

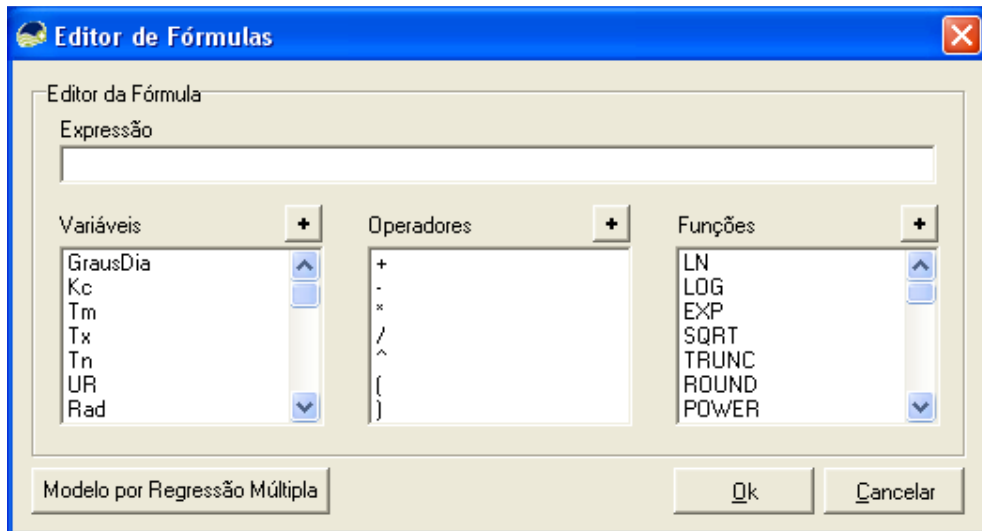


Figura 2A - Editor de fórmulas para modelos personalizados.

Parcela	Produtividade Observada (t/ha) Variável (Y)
P 01 - RB 86-7515	127,02
P 02 - RB 86-7515	139,39
P 03 - RB 86-7515	156,48
P 04 - RB 86-7515	140,04
P 05 - RB 86-7515	122,85
P 06 - RB 86-7515	119,28
P 07 - RB 86-7515	161,76
P 08 - RB 86-7515	121,24
P 09 - RB 86-7515	134,94
P 10 - RB 86-7515	155,04
P 11 - RB 86-7515	120,28
P 12 - RB 86-7515	136,42
P 13 - RB 86-7515	117,87
P 14 - RB 86-7515	123,56
P 15 - RB 86-7515	169,5
P 16 - RB 86-7515	105,81
P 17 - RB 86-7515	99,63
P 18 - RB 86-7515	102,92
P 19 - RB 86-7515	114,34
P 20 - RB 86-7515	116,47
P 21 - RB 86-7515	116,88
P 22 - RB 86-7515	94,95
P 23 - RB 86-7515	97,69
P 24 - RB 86-7515	89,06
P 25 - RB 86-7515	96,73
P 26 - RB 86-7515	116,24
P 27 - RB 86-7515	93,81

Figura 3A - Modelos por regressão linear múltipla.

Modelo de Produtividade por Regressão Múltipla

Dados: Melhor Ajuste

Configurações | Selecionar Variáveis

Menor R² ajustado: 0,9

Gerar Soluções

R ²	R ² Ajustado	Erro Padrão	F	F (tab 5%)	t (Núm. Coef. Satisfatório)	Núm. Variáveis	Lista de Variáveis
0,98069	0,997630	1,735146	2274,297	2,660	4	5	Etc; Etc; Eto; UR; Rad
0,996839	0,996120	2,20159	1387,443	2,660	4	5	Etc; Eto; Tm; UR; Eto
0,990069	0,997518	1,775834	1899,395	2,570	4	6	Eto; Tm; Rad; UR; Eto; Eto
0,997297	0,996826	2,007977	2121,170	2,800	3	4	Eto; Eto; Etc; Rad
0,997933	0,997463	1,795395	2123,927	2,660	3	5	Etc; T; Eto; Rad; Eto
0,997893	0,997414	1,812565	2083,796	2,660	3	5	Eto; T; T; UR; Eto; Eto
0,997794	0,997293	1,854576	1990,261	2,660	3	5	Eto; T; UR; Eto; Eto
0,997318	0,996708	2,045052	1636,001	2,660	3	5	Eto; Eto; Tm; UR; Rad
0,998227	0,997721	1,701637	1970,937	2,570	3	6	Eto; Eto; T; UR; Rad; Eto
0,990088	0,997542	1,767052	1827,459	2,570	3	6	Eto; Tm; T; UR; Eto; Eto
0,997936	0,997347	1,836053	1692,426	2,570	3	6	Eto; Tm; T; Eto; Rad; Eto
0,998236	0,997619	1,739256	1617,100	2,490	3	7	Tm; T; UR; Rad; Eto; Eto; Eto
0,959141	0,955872	7,487538	293,429	3,380	2	2	Eto; Eto
0,967402	0,963327	6,825796	237,415	3,010	2	3	Eto; Eto; T
0,988298	0,986262	4,177703	485,603	2,800	2	4	Eto; Eto; Eto; UR
0,971928	0,967045	6,470536	199,077	2,800	2	4	Eto; Eto; UR; Rad

Total de combinações: 26

Figura 4A - Lista de modelos por regressão linear múltipla.

Modelo de Produtividade por Regressão Múltipla

Dados: Melhor Ajuste | Resultado

Análise: Equação de Ajuste:

R²: 0,98069

R² Ajustado: 0,99763

Erro Padrão: 1,735146

Observações: 28

Equação de Ajuste:
$$\text{Produtividade} = 135,097046226221 + 0,818163130825042 * \text{UR (\%)} + -6,57345937200353 * \text{Radiação (MJ/m}^2\text{dia)} + 0,0574378513483662 * \text{Eto (mm)} + 0,11315430061569 * \text{Etc (mm)} + -0,069075478809179 * \text{ETcp (mm)}$$

Copiar modelo para editor | Inserir modelo nas parcelas da fazenda: SADA (Cana) 2007/2008 (Regressão)

Variáveis:

Parcela	UR (%)	Radiação (MJ/m ² dia)	Eto (mm)	Etc (mm)	ETcp (mm)	Prod. Observada	Prod. Estimada
P 01 - RB 86-7515	61,84	21,13	1611	1199,92	1628,43	121,16	120,36
P 02 - RB 86-7515	61,13	21,06	2205,28	1649,5	2613,5	135,07	137,23
P 03 - RB 86-7515	60,29	20,8	2414,51	1535,97	2471,1	147,13	147,89
P 04 - RB 86-7515	63,29	20,76	1391,89	1033,65	1416,62	107,23	107,95
P 05 - RB 86-7515	61,2	21,23	2148,85	1661,34	2835,48	137,22	139,43
P 06 - RB 86-7515	63,33	20,76	1381,73	1114,52	1403,92	115,67	117,43
P 07 - RB 86-7515	59,59	20,91	2547,21	1632	2875,83	158,09	157,63
P 08 - RB 86-7515	61,27	21,31	2118,24	1499,5	2421,79	124,78	126,58
P 09 - RB 86-7515	61,19	21,22	2155,28	1521,5	2187,19	149,24	146,11
P 10 - RB 86-7515	61,26	21,43	2085,05	1418,55	2446,01	111,6	112,8
P 11 - RB 86-7515	63,28	20,74	1395,76	1066,1	1421,46	111,47	111,67
P 12 - RB 86-7515	59,83	20,86	2506,13	1589,06	3899,87	115,61	114,84
P 13 - RB 86-7515	61,67	21,16	1624,99	1173,17	1638,05	117,46	117,04
P 14 - RB 86-7515	61,14	21,07	2210,25	1454,64	2258,13	139,28	140,05
P 15 - RB 86-7515	61,14	21,08	2206,32	1852,09	2347,19	181,14	178,56
P 16 - RB 86-7515	59,04	21,06	2753,97	1497,2	3371,6	100,03	97,55
P 17 - RB 86-7515	60,94	21,65	1922,33	992,96	2289,14	85,36	83,99
P 18 - RB 86-7515	61,19	21,22	2152,28	1530,01	2226,52	143,1	143,13
P 19 - RB 86-7515	61,21	21,61	1963,79	968,83	2281,31	64,77	64,74
P 20 - RB 86-7515	60,12	21,4	1885,31	1043,86	1980,15	86,65	90,44
P 21 - RB 86-7515	71,15	22,23	829,07	909	713,04	56,8	50,68
P 22 - RB 86-7515	64,42	20,62	1322,8	1052,64	1273,39	120,73	118,15
P 23 - RB 86-7515	63,26	20,75	1401,47	1080,22	1485,12	107,5	109,1
P 24 - RB 86-7515	60,24	21,77	1854,6	1124,85	2199,66	80,65	79,6
P 25 - RB 86-7515	61,25	21,42	2089,31	1513,7	2598,09	112,58	113,39
P 26 - RB 86-7515	62,62	22,66	1379,76	908,05	1600,99	85,35	83,28
P 27 - RB 86-7515	67,14	22,74	950,71	464,82	875,02	41,96	41,83
P 28 - RB 86-7515	67,28	22,66	957,11	431,15	883,02	37,42	38,63

Figura 5A - Modelo selecionado por regressão linear múltipla com a equação de ajuste.

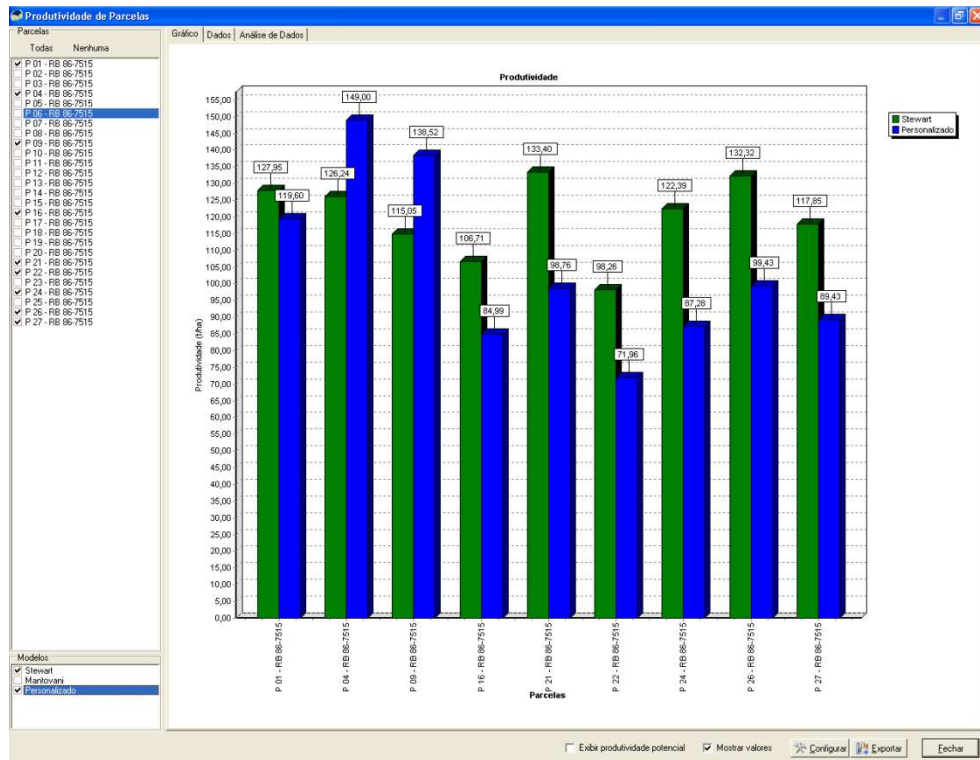


Figura 6A - Resultados de produtividade.

APÊNDICE B

Tabela 1B - Dados da safra 2007/2008 de irrigação, precipitação efetiva (PE), irrigação total necessária (ITN), irrigação real necessária (IRN), umidade real do solo (Umidade), capacidade de campo (CC), ponto de murcha (PM), capacidade total de água no solo (CTA), água disponível no solo (AD), densidade do solo (d_a), fator de disponibilidade de água no solo (f) e profundidade efetiva do sistema radicular (Z)

Parcela	Irrigação (mm)	PE (mm)	ITN (mm)	IRN (mm)	Ea (Decimal)	Umidade (%)	CC (%)	PM (%)	CTA (mm)	AD (mm)	d_a (g cm ⁻³)	f (%)	Z (m)
P 01 - RB 86-7515	1226,56	441,07	4401,34	3854,68	0,88	5,22	6,47	3,21	30,20	18,64	1,54	4,19	0,60
P 02 - RB 86-7515	1525,32	467,15	11168,20	9776,53	0,88	5,47	7,50	3,50	42,00	20,67	1,75	4,70	0,60
P 03 - RB 86-7515	1374,00	449,84	12102,97	10594,67	0,88	6,25	8,50	4,00	41,67	20,83	1,54	5,35	0,60
P 04 - RB 86-7515	1037,09	417,00	4025,77	3526,25	0,88	5,19	6,47	3,21	30,20	18,37	1,54	4,19	0,60
P 05 - RB 86-7515	1489,67	447,98	9184,97	8039,87	0,88	7,03	9,00	4,70	39,84	21,58	1,54	5,99	0,60
P 06 - RB 86-7515	1127,43	415,45	5106,44	4472,88	0,88	7,32	8,95	4,21	43,95	28,88	1,54	5,63	0,60
P 07 - RB 86-7515	1465,96	491,50	15415,80	13494,61	0,88	10,85	13,50	8,00	52,80	27,34	1,60	9,65	0,60
P 08 - RB 86-7515	1314,43	472,09	13106,32	11471,53	0,88	10,75	13,50	8,00	52,80	26,39	1,60	9,65	0,60
P 09 - RB 86-7515	1517,21	420,78	9439,70	8258,72	0,88	8,43	10,47	4,53	54,73	35,83	1,54	6,31	0,60
P 10 - RB 86-7515	1175,01	449,20	14697,76	12866,17	0,88	10,36	13,50	8,00	52,80	22,65	1,60	9,65	0,60
P 11 - RB 86-7515	938,88	420,15	5559,35	4869,21	0,88	7,20	8,95	4,21	43,95	27,74	1,54	5,63	0,60
P 12 - RB 86-7515	1413,96	372,70	19477,94	17053,70	0,88	23,51	28,00	21,00	50,40	18,08	1,20	23,10	0,60
P 13 - RB 86-7515	1197,40	438,73	4571,10	4003,24	0,88	5,18	6,47	3,21	30,20	18,24	1,54	4,19	0,60
P 14 - RB 86-7515	1411,99	351,58	13356,18	11692,16	0,88	7,72	10,47	4,53	55,03	29,54	1,54	6,32	0,60
P 15 - RB 86-7515	1838,62	385,19	11493,93	10060,04	0,88	20,96	23,50	16,00	65,25	43,18	1,45	18,25	0,60
P 16 - RB 86-7515	1205,35	418,02	22697,82	19872,04	0,88	23,16	28,00	21,00	50,40	15,52	1,20	23,10	0,60
P 17 - RB 86-7515	571,43	494,58	12539,00	10974,99	0,88	4,80	7,50	3,50	42,00	13,60	1,75	4,70	0,60
P 18 - RB 86-7515	1338,92	476,63	11452,20	10022,56	0,88	11,33	13,50	8,00	57,75	34,95	1,75	9,65	0,60
P 19 - RB 86-7515	561,03	431,20	15459,89	13532,78	0,88	6,32	10,00	4,70	49,10	14,99	1,54	6,29	0,60
P 20 - RB 86-7515	777,58	472,48	10708,51	9372,83	0,88	5,07	7,50	3,50	40,69	15,93	1,70	4,70	0,60
P 21 - RB 86-7515	624,09	434,60	6942,74	6076,73	0,88	5,19	7,50	3,50	40,80	17,28	1,70	4,70	0,60
P 22 - RB 86-7515	1021,86	342,06	5750,63	5037,34	0,88	8,57	10,47	4,53	54,38	36,80	1,54	6,31	0,59
P 23 - RB 86-7515	1062,76	424,21	4024,88	3525,09	0,88	5,20	6,47	3,21	30,20	18,47	1,54	4,19	0,60
P 24 - RB 86-7515	822,71	460,74	14718,08	12882,17	0,88	6,75	10,50	4,50	55,80	20,94	1,55	6,30	0,60
P 25 - RB 86-7515	1345,32	476,80	11830,58	10357,95	0,88	5,19	7,50	3,50	42,00	17,74	1,75	4,70	0,60

Tabela 2B - Dados da safra 2007/2008 de irrigação, precipitação efetiva (PE), irrigação total necessária (ITN), irrigação real necessária (IRN), umidade real do solo (Umidade), capacidade de campo (CC), ponto de murcha (PM), capacidade total de água no solo (CTA), água disponível no solo (AD), densidade do solo (d_a), fator de disponibilidade de água no solo (f) e profundidade efetiva do sistema radicular (Z)

Parcela	Irrigação (mm)	PE (mm)	ITN (mm)	IRN (mm)	Ea (Decimal)	Umidade (%)	CC (%)	PM (%)	CTA (mm)	AD (mm)	d_a (g cm ⁻³)	f (%)	Z (m)
P 01 - RB 86-7515	1105,4	648,26	3225,23	2497,57	0,77	8,12	8,96	4,21	43,49	35,87	1,54	5,64	0,59
P 02 - RB 86-7515	1329,37	625,46	2741,67	2403,12	0,88	7,27	8,00	4,00	36,68	29,91	1,54	5,20	0,59
P 03 - RB 86-7515	1226,53	660,04	4478,25	3926,61	0,88	11,85	13,00	7,50	50,43	40,07	1,54	9,15	0,59
P 04 - RB 86-7515	1324,61	683,34	2741,49	2403,82	0,88	7,30	8,00	4,00	36,69	30,22	1,54	5,20	0,59
P 05 - RB 86-7515	1330,88	612,79	3468,63	3040,93	0,88	8,99	10,00	4,70	48,54	39,60	1,54	6,29	0,59
P 06 - RB 86-7515	1200,76	648,2	4221,54	3699,05	0,88	5,41	6,47	3,21	30,20	20,39	1,54	4,19	0,60
P 07 - RB 86-7515	1409,71	668,22	3002,12	2631,39	0,88	8,20	9,00	4,70	39,42	32,22	1,54	5,99	0,59
P 08 - RB 86-7515	884,59	611,55	1909,24	1674,63	0,88	5,87	6,48	3,21	29,83	24,22	1,54	4,19	0,59
P 09 - RB 86-7515	1184,72	629,27	3600,14	3155,33	0,88	7,12	8,00	4,00	36,69	28,55	1,54	5,20	0,59
P 10 - RB 86-7515	1353,09	623,87	3892,58	3412,17	0,88	9,44	10,47	4,53	54,43	45,14	1,54	6,31	0,59
P 11 - RB 86-7515	896,58	623,86	1818,53	1594,94	0,88	8,34	8,97	4,21	43,42	37,66	1,54	5,64	0,59
P 12 - RB 86-7515	1118,99	627,73	3130,56	2744,77	0,88	6,70	7,50	3,50	41,50	33,18	1,75	4,70	0,59
P 13 - RB 86-7515	849,34	640,34	2399,81	2104,97	0,88	6,78	7,50	3,50	41,42	34,01	1,75	4,70	0,59
P 14 - RB 86-7515	1064,79	647,35	6448,98	5655,62	0,88	8,73	10,50	4,50	55,15	38,66	1,55	6,30	0,59
P 15 - RB 86-7515	1623,2	595,48	2541,75	2229,09	0,88	9,82	10,47	4,53	54,46	48,45	1,54	6,31	0,59
P 16 - RB 86-7515	712,38	533,93	2579,56	2262,45	0,88	5,63	6,48	3,21	29,82	21,98	1,54	4,19	0,59
P 17 - RB 86-7515	485,22	598,54	5229,51	4585,06	0,88	11,69	13,50	8,00	52,02	35,30	1,60	9,65	0,59
P 18 - RB 86-7515	512,1	593,4	2411,88	2115,65	0,88	12,53	13,50	8,00	51,90	42,67	1,60	9,65	0,59
P 19 - RB 86-7515	832,27	624,02	1964,56	1723,13	0,88	8,28	8,97	4,21	43,41	37,08	1,54	5,64	0,59
P 20 - RB 86-7515	1070,46	644,3	3759,53	3296,3	0,88	6,61	7,50	3,50	41,53	32,15	1,75	4,70	0,59
P 21 - RB 86-7515	864,07	622,61	1444,1	1266,49	0,88	5,98	6,48	3,21	29,81	25,26	1,54	4,19	0,59
P 22 - RB 86-7515	630,58	362,78	3202,28	2808,82	0,88	6,14	7,21	3,79	34,38	23,55	1,70	4,82	0,59
P 23 - RB 86-7515	847,62	565,66	1885,71	1653,91	0,88	5,84	6,48	3,21	29,81	23,98	1,54	4,19	0,59
P 24 - RB 86-7515	693,68	372,42	2521,07	2211,81	0,88	7,01	7,89	3,89	40,18	31,39	1,70	5,09	0,59
P 25 - RB 86-7515	767,34	513,65	3249,15	2849,89	0,88	6,51	7,50	3,50	40,24	30,11	1,70	4,70	0,59
P 26 - RB 86-7515	889,77	630,79	1484,47	1301,89	0,88	5,97	6,48	3,21	29,81	25,17	1,54	4,19	0,59
P 27 - RB 86-7515	904,72	406,84	2434,1	2134,68	0,88	7,67	8,50	4,50	40,21	31,85	1,70	5,70	0,59

Tabela 3B - Dados climáticos diários de temperatura mínima (Tn), temperatura média (Tm), temperatura máxima (Tx), umidade relativa (UR), velocidade do vento (VV), precipitação (Prec) e radiação (Rad)

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
27/3/2007	19,67	26,22	33,5	65,50	0,88	0	258,88
28/3/2007	17,94	25,41	33,5	63,92	0,71	0	269,00
29/3/2007	17,94	25,41	33,5	63,92	0,71	0	269,00
30/3/2007	17,94	25,41	33,5	63,92	0,71	0	269,00
31/3/2007	18,30	25,86	33,4	65,88	0,42	0	113,71
1/4/2007	17,60	25,92	34,4	65,33	0,45	3	110,83
2/4/2007	18,33	25,58	33,5	68,50	0,38	0	236,75
3/4/2007	18,90	24,90	33,3	71,63	0,88	0	275,58
4/4/2007	15,40	24,11	32,9	72,50	0,42	0	292,33
5/4/2007	17,10	23,55	31,7	80,42	0,23	0	164,67
6/4/2007	18,10	26,38	35,6	67,50	0,42	0	285,00
7/4/2007	18,80	26,40	34,6	64,38	1,25	0	276,04
8/4/2007	17,90	25,17	35,5	71,00	0,71	0	295,54
9/4/2007	17,70	22,90	27,1	85,54	1,05	0,4	126,63
10/4/2007	19,60	23,65	32,9	85,63	0,44	0,2	188,46
11/4/2007	17,80	23,90	31,6	78,29	0,83	0	191,04
12/4/2007	17,31	23,77	33,6	69,29	0,71	0	276,17
13/4/2007	16,00	24,58	34,7	71,29	1,14	0	284,21
14/4/2007	18,60	25,30	33,8	69,92	1,45	0	253,46
15/4/2007	17,20	24,15	32,4	73,75	1,20	0,2	221,92
16/4/2007	16,80	24,28	32,9	72,38	1,12	0	246,54
17/4/2007	17,10	24,54	33,9	70,58	0,87	0,4	276,83
18/4/2007	19,20	24,36	33,0	74,67	0,73	0	233,30
19/4/2007	20,30	25,33	32,4	72,67	1,70	0	197,21
20/4/2007	19,40	24,73	32,7	73,67	1,60	0	189,21
21/4/2007	19,90	24,43	31,3	74,71	1,06	0	190,30
22/4/2007	18,50	24,75	32,9	71,13	0,76	0	227,38
23/4/2007	18,50	24,58	33,2	67,88	1,12	0	274,42
24/4/2007	16,60	24,91	34,3	66,21	0,88	0	263,54
25/4/2007	16,00	24,45	33,5	68,42	0,78	0	246,13
26/4/2007	17,90	24,39	33,8	68,58	0,75	0	244,25
27/4/2007	16,00	24,77	35,6	63,50	0,65	0	264,92
28/4/2007	14,10	24,41	34,6	62,42	1,73	0	253,04
29/4/2007	18,70	24,68	33,0	63,21	1,94	0	255,83
30/4/2007	17,70	24,49	33,0	64,29	1,04	0	263,21
1/5/2007	16,00	24,77	35,6	63,50	0,65	0	264,92
2/5/2007	16,00	24,77	35,6	63,50	0,65	0	264,92
3/5/2007	16,00	24,77	35,6	63,50	0,65	0	264,92
4/5/2007	16,00	24,77	35,6	63,50	0,65	0	264,92
5/5/2007	16,00	24,77	35,6	63,50	0,65	0	264,92
6/5/2007	16,00	24,77	35,6	63,50	0,65	0	264,92
7/5/2007	16,00	24,77	35,6	63,50	0,65	0	264,92
8/5/2007	15,10	24,00	34,5	62,29	0,59	0	256,17
9/5/2007	14,00	24,90	35,4	60,96	0,83	0	253,46
10/5/2007	14,00	23,23	32,4	64,83	2,63	0	246,04
11/5/2007	14,10	20,89	29,7	64,38	2,04	0	247,42
12/5/2007	13,50	20,38	29,8	67,71	1,26	0	249,00
13/5/2007	12,30	21,38	30,8	61,71	1,19	0	251,46

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
14/5/2007	13,70	21,90	32,6	61,38	0,89	0	250,46
15/5/2007	10,70	22,70	34,3	57,42	0,83	0	246,42
16/5/2007	10,90	22,48	33,3	57,38	1,15	0	246,67
17/5/2007	17,00	23,73	33,4	60,17	1,20	0	234,54
18/5/2007	17,10	24,38	33,0	61,83	0,90	0	226,42
19/5/2007	16,80	24,00	33,4	63,54	0,60	0	202,04
20/5/2007	17,10	24,38	33,0	61,83	0,90	0	226,42
21/5/2007	14,50	22,61	33,1	60,21	0,76	0	239,96
22/5/2007	11,10	21,83	33,8	60,83	0,47	0	233,54
23/5/2007	32,80	22,27	34,2	94,00	1,80	0	829,00
24/5/2007	14,90	23,87	32,4	66,75	1,27	0	193,96
25/5/2007	23,88	24,37	25,0	68,88	1,91	0	160,25
26/5/2007	16,80	22,98	31,2	65,96	2,19	0	209,50
27/5/2007	16,30	23,12	33,3	67,92	0,97	0	230,88
28/5/2007	16,70	24,29	33,7	66,50	0,55	0	188,58
29/5/2007	16,20	25,76	34,6	62,04	0,75	0	229,08
30/5/2007	19,20	26,57	34,8	58,96	1,36	0	208,92
31/5/2007	16,80	23,62	32,0	65,88	2,58	0	217,67
1/6/2007	14,20	21,20	31,2	59,79	1,83	0	234,63
2/6/2007	10,60	20,03	32,3	60,96	0,64	0	234,25
3/6/2007	8,20	21,35	34,2	56,00	0,57	0	229,54
4/6/2007	13,40	23,87	32,7	60,58	1,14	0	152,17
5/6/2007	15,30	23,48	32,2	65,67	1,07	0	194,58
6/6/2007	17,20	23,03	31,6	65,29	1,07	0	187,75
7/6/2007	14,10	23,23	32,8	60,21	1,00	0	214,83
8/6/2007	15,00	21,75	30,6	61,04	1,58	0	230,17
9/6/2007	9,30	20,08	30,7	56,83	1,33	0	232,96
10/6/2007	10,20	20,34	31,2	56,00	1,06	0	231,08
11/6/2007	13,90	22,07	31,8	51,71	1,50	0	231,79
12/6/2007	13,30	21,79	31,3	62,83	1,31	0	173,50
13/6/2007	12,90	21,87	32,7	67,29	0,73	0	190,63
14/6/2007	13,70	22,16	32,5	57,00	1,23	0	230,50
15/6/2007	10,40	21,15	30,7	59,58	0,94	0	228,17
16/6/2007	10,90	22,48	32,3	56,58	0,95	0	226,17
17/6/2007	12,30	22,33	32,1	57,71	1,47	0	226,46
18/6/2007	14,70	22,21	31,2	57,17	1,80	0	226,25
19/6/2007	15,70	22,85	31,3	57,08	1,89	0	216,67
20/6/2007	9,70	21,12	30,1	59,42	1,60	0	229,13
21/6/2007	15,00	23,42	30,2	57,88	2,70	0	227,63
22/6/2007	16,80	23,28	29,7	50,21	2,81	0	223,50
23/6/2007	11,30	21,80	29,8	63,54	1,21	0	150,08
24/6/2007	15,00	21,76	30,1	59,88	1,26	0	204,96
25/6/2007	10,20	21,67	30,7	60,00	1,76	0	216,63
26/6/2007	11,30	21,11	29,8	59,50	2,12	0	224,67
27/6/2007	14,30	21,61	29,9	58,67	1,53	0	224,21
28/6/2007	11,80	20,50	30,4	60,42	1,24	0	225,38
29/6/2007	7,80	19,19	30,4	56,92	0,81	0	224,75
30/6/2007	8,00	18,83	30,8	54,29	0,80	0	227,54
1/7/2007	7,80	20,21	31,7	47,08	1,14	0	201,71
2/7/2007	12,40	22,35	29,6	50,71	2,13	0	219,38
3/7/2007	14,80	22,00	30,2	57,63	1,03	0	173,13

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
4/7/2007	13,80	21,62	30,0	64,50	1,43	0	164,38
5/7/2007	15,60	22,03	30,4	66,88	1,50	0	175,46
6/7/2007	13,90	20,88	29,7	55,92	1,79	0	229,67
7/7/2007	13,90	20,70	30,1	52,92	1,36	0	208,54
8/7/2007	13,10	23,16	32,1	55,58	1,65	0	227,67
9/7/2007	15,00	22,93	32,9	61,46	0,99	0	230,67
10/7/2007	12,20	20,80	30,7	60,38	1,31	0	228,17
11/7/2007	9,90	20,54	31,4	51,08	1,18	0	234,38
12/7/2007	13,30	21,80	30,6	52,42	1,72	0	216,54
13/7/2007	10,30	21,22	28,7	60,75	1,13	0	167,25
14/7/2007	12,60	21,16	30,9	53,42	0,65	0	225,63
15/7/2007	8,30	20,14	32,2	50,88	0,83	0	233,08
16/7/2007	10,10	21,02	32,9	53,17	0,79	0	231,46
17/7/2007	10,10	21,02	32,9	53,17	0,79	0	231,46
18/7/2007	14,60	23,32	34,1	54,96	0,75	0	230,88
19/7/2007	11,60	24,43	34,4	49,67	1,21	0	224,79
20/7/2007	20,20	26,15	34,4	51,67	2,20	0	211,71
21/7/2007	16,00	23,20	32,8	60,25	1,53	0	227,54
22/7/2007	10,40	20,80	32,7	59,79	0,53	0	233,92
23/7/2007	8,00	20,88	34,2	52,50	0,42	0	231,92
24/7/2007	9,00	22,35	35,4	47,96	1,04	0	231,50
25/7/2007	7,40	20,64	33,9	49,13	0,55	0	236,33
26/7/2007	10,90	23,48	34,6	45,13	0,62	0	227,58
27/7/2007	12,60	23,60	33,0	54,46	1,86	0	228,92
28/7/2007	16,30	23,91	31,9	60,50	2,40	0	215,46
29/7/2007	16,40	22,81	30,6	60,42	2,63	0	210,17
30/7/2007	14,70	20,61	28,3	56,04	2,71	0	237,13
31/7/2007	11,20	18,70	27,3	49,33	2,05	0	241,17
1/8/2007	10,70	19,11	28,4	55,54	1,78	0	243,92
2/8/2007	10,50	19,97	29,4	55,08	1,48	0	244,17
3/8/2007	14,20	21,96	30,8	52,21	2,05	0	243,75
4/8/2007	11,80	21,56	30,8	53,58	1,58	0	246,67
5/8/2007	14,60	22,55	32,1	48,67	1,79	0	247,58
6/8/2007	14,10	22,01	30,9	50,92	2,27	0	249,38
7/8/2007	13,30	20,89	30,5	50,92	1,73	0	250,25
8/8/2007	12,70	21,90	30,9	53,33	1,89	0	254,33
9/8/2007	14,80	23,81	32,1	53,75	3,53	0	228,63
10/8/2007	13,40	22,20	30,2	53,92	2,37	0	207,54
11/8/2007	9,60	22,35	31,2	59,42	2,40	0	224,92
12/8/2007	15,00	22,93	30,9	55,00	2,99	0	251,83
13/8/2007	9,60	21,36	29,8	53,54	2,28	0	256,29
14/8/2007	12,10	22,10	29,5	48,71	3,24	0	259,04
15/8/2007	13,10	22,03	30,3	44,63	3,33	0	257,83
16/8/2007	13,30	22,16	29,7	58,04	3,17	0	208,42
17/8/2007	14,80	22,38	29,6	54,29	2,92	0	260,92
18/8/2007	11,60	21,51	31,1	47,54	2,06	0	263,25
19/8/2007	14,40	21,36	30,5	47,58	1,76	0	259,96
20/8/2007	13,20	21,66	31,2	46,54	1,36	0	256,17
21/8/2007	7,80	22,60	33,8	41,40	1,50	0	260,30
22/8/2007	10,20	22,10	30,9	44,50	2,30	0	263,30
23/8/2007	11,80	22,70	31,6	53,90	2,60	0	265,90

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
24/8/2007	14,70	22,30	31,0	50,90	2,30	0	270,70
25/8/2007	12,60	22,70	34,4	48,10	0,80	0	263,80
26/8/2007	13,10	25,30	37,8	39,20	0,70	0	266,80
27/8/2007	13,50	25,70	36,7	38,60	0,60	0	254,80
28/8/2007	14,40	26,80	37,3	35,40	1,50	0	231,60
29/8/2007	15,00	23,64	31,7	45,00	2,70	0	267,30
30/8/2007	12,70	22,65	30,1	44,96	3,37	0	266,25
31/8/2007	15,00	22,40	31,3	42,60	2,20	0	276,00
1/9/2007	13,80	23,90	32,4	42,80	2,30	0	276,30
2/9/2007	15,10	23,50	32,8	44,00	2,40	0	279,50
3/9/2007	11,60	23,80	32,3	50,20	2,70	0	282,30
4/9/2007	17,10	24,60	31,1	49,30	3,60	0	248,50
5/9/2007	17,80	24,01	31,7	46,88	3,90	0	283,67
6/9/2007	15,80	22,28	31,6	50,75	2,43	0	279,38
7/9/2007	16,70	23,70	31,9	47,71	2,38	0	246,38
8/9/2007	15,00	21,85	31,2	49,38	2,28	0	266,29
9/9/2007	16,10	21,67	30,8	46,25	2,21	0	249,67
10/9/2007	14,10	22,18	33,4	49,58	2,07	0	273,71
11/9/2007	17,90	24,22	32,4	49,08	3,14	0	279,63
12/9/2007	16,10	23,57	32,3	44,79	3,29	0	283,17
13/9/2007	14,80	23,62	32,6	48,21	2,55	0	290,71
14/9/2007	13,90	22,89	31,8	45,42	2,13	0	277,08
15/9/2007	13,30	22,07	32,8	44,75	1,79	0	287,50
16/9/2007	10,90	23,09	36,3	38,46	0,79	0	289,20
17/9/2007	12,70	24,97	37,8	35,13	1,33	0	276,33
18/9/2007	21,40	26,66	34,3	43,46	3,75	0	278,33
19/9/2007	17,00	24,48	34,4	49,83	1,93	0	283,88
20/9/2007	14,10	21,92	33,6	42,96	1,70	0	295,67
21/9/2007	9,30	21,12	34,1	44,42	1,93	0	295,67
22/9/2007	12,70	23,08	35,2	41,42	1,40	0	292,42
23/9/2007	13,00	24,24	36,7	38,25	0,57	0	281,71
24/9/2007	13,00	24,58	38,4	38,17	0,57	0	281,71
25/9/2007	15,70	27,24	36,2	41,13	2,92	0	260,17
26/9/2007	18,70	25,52	32,2	49,46	4,27	0	298,63
27/9/2007	16,40	23,53	31,4	52,38	2,66	0	202,21
28/9/2007	14,30	23,23	32,2	53,88	1,73	0	294,67
29/9/2007	14,20	25,23	34,3	50,33	1,69	0	288,00
30/9/2007	19,30	26,59	34,0	47,08	3,50	0	279,88
1/10/2007	18,60	24,68	32,6	55,38	3,31	0	280,00
2/10/2007	15,80	24,05	32,0	53,67	2,72	0	240,75
3/10/2007	15,90	24,03	33,3	49,63	2,13	0	280,79
4/10/2007	15,90	24,78	33,2	45,33	2,42	0	297,79
5/10/2007	16,70	25,27	33,3	46,92	2,43	0	304,75
6/10/2007	16,80	25,68	34,7	47,33	1,99	0	304,25
7/10/2007	18,20	26,38	34,5	48,21	2,01	0	266,17
8/10/2007	14,10	24,95	32,8	46,79	2,93	0	307,29
9/10/2007	17,40	24,72	32,5	43,67	2,90	0	314,79
10/10/2007	15,00	24,37	33,1	46,54	1,88	0	274,50
11/10/2007	16,90	25,06	33,7	44,33	1,76	0	280,67
12/10/2007	17,40	26,12	36,7	43,17	1,30	0	299,04
13/10/2007	17,70	27,20	36,6	45,54	1,34	0	250,29

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
14/10/2007	17,10	27,25	36,7	39,96	1,95	0	305,04
15/10/2007	14,40	26,66	36,1	40,63	1,81	0	314,13
16/10/2007	18,80	26,52	36,8	38,50	1,94	0	300,17
17/10/2007	12,30	26,13	37,8	37,88	0,74	0	288,75
18/10/2007	15,00	27,48	40,1	33,13	0,51	0	278,58
19/10/2007	19,90	28,29	38,2	38,79	1,16	0	235,13
20/10/2007	22,30	27,53	31,8	50,46	1,10	0	118,33
21/10/2007	21,20	26,81	36,7	60,13	1,64	2,4	207,25
22/10/2007	20,50	27,66	37,4	55,96	1,54	0,2	261,88
23/10/2007	18,80	27,56	38,5	37,42	1,40	0	296,71
24/10/2007	18,90	28,46	38,1	42,29	2,07	0	313,21
25/10/2007	16,00	27,05	35,9	42,63	1,63	0	262,67
26/10/2007	15,00	26,96	37,9	38,25	0,65	0	301,54
27/10/2007	15,90	27,98	38,6	34,83	0,52	0	294,21
28/10/2007	17,20	29,79	39,7	33,00	0,48	0	270,79
29/10/2007	19,80	31,03	39,9	32,04	1,03	0	240,08
30/10/2007	16,50	30,16	40,0	36,17	1,30	0	312,96
31/10/2007	16,50	28,65	38,6	36,17	0,66	0	301,96
1/11/2007	15,40	27,85	38,6	37,08	0,04	0	260,33
2/11/2007	19,60	30,42	39,6	41,79	1,60	0	288,54
3/11/2007	20,70	29,01	38,9	51,58	1,25	0	228,54
4/11/2007	22,10	28,22	38,2	60,75	1,49	5,8	219,00
5/11/2007	21,30	28,58	37,3	52,08	2,53	0	281,46
6/11/2007	18,80	27,10	35,9	41,88	1,96	0	336,58
7/11/2007	16,30	26,92	36,7	43,96	0,73	0	284,67
8/11/2007	19,60	27,67	36,4	41,33	0,91	0	213,21
9/11/2007	16,40	27,41	37,9	39,58	0,72	0	275,33
10/11/2007	15,40	28,20	39,3	36,83	0,57	0	312,50
11/11/2007	18,30	30,36	39,9	35,38	0,98	0	324,67
12/11/2007	19,90	29,89	39,4	39,75	0,88	0	293,42
13/11/2007	17,80	28,74	37,6	41,67	2,49	0	312,42
14/11/2007	21,10	28,31	37,0	42,79	1,82	0	333,79
15/11/2007	14,60	27,72	37,5	37,79	1,33	0	295,83
16/11/2007	15,70	29,33	37,7	35,00	3,43	0	331,75
17/11/2007	22,50	28,89	35,8	37,17	3,65	0	310,29
18/11/2007	20,40	27,88	34,8	37,88	3,05	0	306,00
19/11/2007	15,70	26,53	36,5	43,92	0,98	0	292,92
20/11/2007	15,80	29,04	39,1	37,21	0,88	0	301,00
21/11/2007	26,30	29,74	35,3	43,25	2,54	0	181,71
22/11/2007	22,90	25,87	32,8	63,20	2,40	0	176,40
23/11/2007	19,80	22,72	29,9	81,62	1,23	6,4	135,50
24/11/2007	19,80	25,98	34,2	68,20	0,61	0	289,50
25/11/2007	22,00	27,43	35,2	63,12	0,90	22,6	266,90
26/11/2007	21,10	24,01	29,8	83,26	0,90	42,9	163,70
27/11/2007	22,60	24,88	32,0	80,20	0,91	10,4	217,10
28/11/2007	21,10	22,80	29,4	91,62	0,91	0	116,50
29/11/2007	21,30	23,88	30,4	82,66	1,18	9,7	169,90
30/11/2007	20,70	22,71	28,1	90,70	0,99	2,6	120,50
1/12/2007	21,40	23,21	27,3	88,08	1,06	4,1	126,60
2/12/2007	21,60	24,71	31,6	77,66	1,11	0	217,80
3/12/2007	26,30	30,17	35,3	43,92	2,54	0	181,71

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
4/12/2007	19,20	27,91	36,3	61,50	0,81	13,1	272,75
5/12/2007	21,00	26,51	35,3	69,38	1,65	0	282,75
6/12/2007	21,10	27,90	37,2	66,63	1,09	0	329,13
7/12/2007	21,00	28,00	36,6	64,83	1,51	0	263,96
8/12/2007	20,60	22,37	25,9	89,13	0,65	0	123,54
9/12/2007	20,90	22,94	29,5	90,63	0,38	0	132,83
10/12/2007	20,20	22,53	26,4	87,88	1,08	0	126,04
11/12/2007	19,60	24,90	32,4	73,67	1,20	0	268,17
12/12/2007	18,40	26,36	34,6	69,83	0,83	19,2	342,08
13/12/2007	19,20	26,97	35,1	62,04	1,15	0	302,29
14/12/2007	17,20	26,08	34,4	61,00	0,72	0	325,71
15/12/2007	17,20	26,08	34,4	61,00	0,72	9,1	325,71
16/12/2007	20,60	23,80	29,6	79,78	1,67	0	190,52
17/12/2007	21,00	24,80	30,6	76,60	1,43	20,9	242,04
18/12/2007	21,10	23,80	26,8	83,21	2,73	10	215,83
19/12/2007	21,90	24,40	30,2	80,39	1,45	1,2	199,65
20/12/2007	20,20	24,90	32,0	77,56	1,33	0	281,43
21/12/2007	21,30	25,80	34,2	72,86	1,95	0	315,52
22/12/2007	21,00	24,40	33,3	75,99	2,02	14	266,78
23/12/2007	19,90	25,60	33,2	67,95	1,93	0	354,4
24/12/2007	18,60	25,50	32,4	61,34	1,72	0	360,48
25/12/2007	20,20	25,60	31,8	57,60	2,40	0	350,04
26/12/2007	20,20	25,40	31,9	57,30	2,30	0	370,87
27/12/2007	17,60	25,40	32,8	54,73	1,80	0	362,78
28/12/2007	20,10	26,38	32,3	57,21	2,71	0	362,04
29/12/2007	18,20	25,40	33,1	60,95	2,03	2,8	326,78
30/12/2007	19,70	26,10	32,8	65,46	1,69	0	325,71
31/12/2007	19,30	25,25	32,9	65,63	1,52	0	298,92
1/1/2008	16,60	25,59	33,9	59,17	1,28	0	339,38
2/1/2008	17,80	25,80	34,3	55,54	1,61	0	329,21
3/1/2008	18,70	25,43	32,3	57,21	1,90	0	342,71
4/1/2008	17,10	24,88	32,9	58,50	1,43	0	320,38
5/1/2008	15,80	25,86	34,9	49,88	0,99	0	352,04
6/1/2008	14,90	26,53	36,3	52,67	1,04	0	331,75
7/1/2008	21,80	26,65	35,6	49,62	1,81	0	266,96
8/1/2008	20,70	24,06	27,5	81,29	1,07	0,4	157,63
9/1/2008	21,40	25,52	32,2	74,70	0,90	0	202,66
10/1/2008	20,80	23,13	30,8	85,83	1,31	11	181,75
11/1/2008	19,70	25,82	32,9	72,08	1,12	0	330,33
12/1/2008	19,90	25,87	33,2	67,21	1,25	0	274,79
13/1/2008	20,30	25,56	31,9	65,00	2,02	0	287,29
14/1/2008	18,30	25,17	31,0	60,50	2,64	0	310,88
15/1/2008	19,10	25,74	33,3	58,88	2,31	0	299,29
16/1/2008	19,10	24,93	32,9	67,54	1,74	0	306,04
17/1/2008	20,90	25,45	32,9	72,21	0,94	0	269,08
18/1/2008	20,80	26,55	34,2	69,29	1,08	0	326,46
19/1/2008	20,30	27,17	34,1	66,88	0,77	0	286,58
20/1/2008	21,60	27,54	35,3	66,67	1,02	0	273,25
21/1/2008	22,50	26,93	32,8	65,58	0,92	0	232,50
22/1/2008	20,60	25,28	31,6	69,79	1,47	0	269,21
23/1/2008	20,70	25,37	32,4	73,71	1,30	0	282,54

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
24/1/2008	21,30	25,18	31,5	79,17	1,55	0	232,08
25/1/2008	20,20	25,44	31,8	75,88	1,30	0	252,29
26/1/2008	21,80	25,81	30,1	73,17	1,80	0	244,25
27/1/2008	21,60	25,56	29,4	72,08	1,88	0	175,79
28/1/2008	20,80	26,41	32,7	65,83	1,53	0	288,46
29/1/2008	22,30	25,70	31,3	70,63	0,88	0	187,17
30/1/2008	21,10	23,74	29,9	84,88	0,93	0	143,38
31/1/2008	21,00	23,39	29,6	89,33	1,48	0	201,50
1/2/2008	22,00	24,43	28,9	88,33	1,08	0	176,88
2/2/2008	21,40	23,73	28,7	87,92	1,70	0	169,13
3/2/2008	20,30	25,20	32,3	80,08	1,13	0	297,83
4/2/2008	19,50	25,58	33,2	77,71	0,92	0	297,71
5/2/2008	20,80	25,27	31,9	79,58	0,95	0	236,38
6/2/2008	20,80	26,16	32,7	72,58	1,13	0	310,29
7/2/2008	19,30	25,88	32,9	68,08	1,15	0	352,17
8/2/2008	18,40	25,95	33,6	61,67	1,04	0	352,42
9/2/2008	20,90	25,45	32,9	64,10	1,12	0	347,23
10/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
11/2/2008	20,80	26,55	32,5	59,34	0,93	0	335,64
12/2/2008	20,30	27,42	34,1	64,13	1,06	0	349,76
13/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
14/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
15/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
16/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
17/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
18/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
19/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
20/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
21/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
22/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
23/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
24/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
25/2/2008	21,70	26,23	33,2	62,38	1,03	0	346,52
26/2/2008	19,80	25,03	32,3	73,29	1,33	0	199,58
27/2/2008	20,70	25,51	32,2	75,00	1,19	0	199,42
28/2/2008	21,80	24,18	28,2	85,33	1,04	0	171,42
29/2/2008	21,10	24,50	30,7	82,25	1,40	0	173,96
1/3/2008	21,20	22,35	25,8	93,67	1,44	0	163,58
2/3/2008	20,80	23,99	30,3	85,96	1,33	0	227,83
3/3/2008	21,50	23,24	28,5	89,54	0,81	0	134,46
4/3/2008	21,10	23,47	31,3	87,17	0,80	0	236,83
5/3/2008	20,10	25,04	32,6	79,38	0,71	0,2	252,21
6/3/2008	21,60	23,87	26,7	88,50	0,60	1,4	107,53
7/3/2008	21,60	24,52	30,6	83,38	1,01	3,2	229,42
8/3/2008	20,10	23,80	30,7	83,96	1,13	1,2	199,71
9/3/2008	19,40	24,87	31,0	77,00	1,04	0,2	311,96
10/3/2008	20,20	25,89	31,6	69,15	0,80	0	297,25
11/3/2008	20,80	26,00	32,2	70,70	1,20	0	304,50
12/3/2008	21,10	26,21	32,2	71,54	0,77	0	276,00
13/3/2008	20,70	25,97	32,0	73,71	1,37	0	276,13
14/3/2008	19,60	26,70	33,3	71,88	1,05	0	300,88

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
15/3/2008	20,30	24,73	30,4	81,63	1,91	0	235,54
16/3/2008	21,80	25,97	31,9	76,71	0,98	0	285,21
17/3/2008	20,60	25,43	30,6	70,29	1,76	0	268,96
18/3/2008	20,90	24,95	30,4	68,46	1,56	0	306,00
19/3/2008	18,80	24,79	30,7	69,63	1,70	0	285,17
20/3/2008	19,40	24,58	29,8	70,79	1,89	0	219,04
21/3/2008	21,40	25,55	31,2	66,38	1,89	0	311,00
22/3/2008	19,70	25,97	32,7	66,38	1,22	0	299,83
23/3/2008	19,40	26,48	33,2	66,13	0,96	0	294,04
24/3/2008	20,90	26,47	33,1	62,54	0,98	0	276,38
25/3/2008	19,90	26,40	31,9	65,75	0,87	0	211,25
26/3/2008	20,70	24,41	29,4	75,96	1,21	0	167,96
27/3/2008	18,20	25,28	32,5	69,63	1,03	0	283,75
28/3/2008	19,80	23,92	29,5	82,00	1,38	0	207,92
29/3/2008	20,50	25,53	31,5	75,08	0,86	0	277,17
30/3/2008	19,30	24,49	31,4	79,46	1,02	0	264,71
31/3/2008	19,30	23,93	29,7	75,42	1,99	0	267,08
1/4/2008	18,00	23,38	30,1	73,29	1,30	0	282,00
2/4/2008	17,80	24,22	29,6	71,67	0,77	0	238,92
3/4/2008	21,30	25,25	30,0	75,29	0,86	0	164,25
4/4/2008	21,60	23,78	27,7	89,17	1,35	0	119,75
5/4/2008	21,90	23,94	27,9	87,67	1,15	0	136,21
6/4/2008	21,20	23,54	27,7	85,71	1,13	0	132,29
7/4/2008	21,00	23,94	28,2	85,29	0,54	0	135,88
8/4/2008	19,20	25,20	32,3	76,75	0,74	0	246,96
9/4/2008	20,20	25,52	32,4	70,66	0,80	0	253,20
10/4/2008	20,80	26,34	32,6	69,79	1,23	0	285,42
11/4/2008	18,10	25,49	32,9	68,33	0,51	0	263,67
12/4/2008	19,20	26,24	33,5	69,21	0,73	0	287,79
13/4/2008	19,90	25,82	33,4	73,54	1,00	0	249,08
14/4/2008	21,00	25,59	31,7	73,96	1,58	0	243,50
15/4/2008	20,80	25,97	33,3	73,42	0,88	0	240,75
16/4/2008	20,30	24,61	30,7	80,13	1,03	0	186,29
17/4/2008	19,40	25,16	31,5	70,63	1,39	0	277,25
18/4/2008	20,30	25,23	31,2	70,00	0,71	0	258,08
19/4/2008	18,10	25,20	31,9	68,25	0,58	0	254,75
20/4/2008	19,30	24,90	31,5	66,25	0,90	0	263,00
21/4/2008	17,60	24,90	32,3	69,29	0,62	0	261,75
22/4/2008	19,20	25,14	32,2	65,46	0,69	0	264,71
23/4/2008	17,50	25,53	33,5	65,04	0,56	0	270,67
24/4/2008	21,20	25,53	32,2	76,00	1,14	0	196,92
25/4/2008	21,60	25,52	31,3	76,46	0,85	0	221,38
26/4/2008	20,60	25,10	31,8	77,13	0,90	0	193,92
27/4/2008	20,40	23,65	28,9	82,54	0,98	0	169,54
28/4/2008	18,70	25,40	32,6	71,00	0,79	0	260,29
29/4/2008	17,90	25,20	32,7	69,71	0,60	0	244,17
30/4/2008	18,00	25,17	32,6	67,21	0,66	0	250,54
1/5/2008	17,20	24,02	30,9	69,38	2,60	0	255,67
2/5/2008	17,90	23,44	29,7	69,33	1,83	0	247,96
3/5/2008	19,60	25,44	32,1	66,58	0,94	0	245,04
4/5/2008	21,10	26,60	33,3	66,46	0,84	0	259,83

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
5/5/2008	21,20	25,80	32,7	72,63	1,04	0	180,40
6/5/2008	18,30	25,23	32,9	69,00	1,13	0	206,33
7/5/2008	17,70	25,03	32,6	62,83	1,33	0	227,92
8/5/2008	14,60	23,05	31,7	56,92	1,17	0	252,33
9/5/2008	14,20	22,43	30,3	60,50	0,96	0	214,54
10/5/2008	17,30	23,15	30,3	57,58	1,33	0	237,04
11/5/2008	15,80	22,20	29,0	62,75	1,80	0	219,79
12/5/2008	16,00	21,55	27,6	62,61	2,05	0	240,96
13/5/2008	15,70	22,20	28,5	59,50	2,23	0	234,83
14/5/2008	16,30	22,68	30,3	58,04	1,36	0	215,50
15/5/2008	17,40	23,59	31,2	61,54	1,38	0	234,42
16/5/2008	18,60	23,98	30,6	63,21	1,11	0	198,08
17/5/2008	17,10	23,75	30,2	64,21	2,10	0	209,50
18/5/2008	18,80	23,25	30,1	63,79	2,20	0	206,83
19/5/2008	18,10	23,09	30,2	64,67	1,50	0	233,88
20/5/2008	16,80	23,26	31,5	57,00	1,14	0	235,88
21/5/2008	13,70	22,50	30,8	54,75	1,23	0	224,67
22/5/2008	14,30	23,41	31,5	49,71	0,96	0	227,17
23/5/2008	15,80	23,38	32,7	51,71	0,69	0	210,25
24/5/2008	13,30	23,23	33,2	55,08	0,67	0	224,79
25/5/2008	15,20	23,00	31,2	58,79	0,42	0	140,75
26/5/2008	19,30	25,38	31,6	57,21	0,56	0	115,08
27/5/2008	20,00	25,94	32,6	56,04	1,44	0	185,75
28/5/2008	17,70	24,26	31,6	57,33	1,63	0	211,29
29/5/2008	16,40	24,20	32,4	57,88	0,77	0	210,00
30/5/2008	16,20	24,49	32,6	56,04	0,64	0	209,71
31/5/2008	17,90	24,46	31,7	55,88	2,20	0	196,54
1/6/2008	14,80	22,20	27,4	68,08	2,32	0	125,50
2/6/2008	18,90	22,58	25,7	68,17	3,11	0	102,58
3/6/2008	18,20	22,49	28,1	67,79	2,38	0	166,88
4/6/2008	17,70	22,96	30,1	64,54	1,63	0	192,83
5/6/2008	14,50	23,76	32,2	58,29	1,21	0	213,13
6/6/2008	17,10	24,28	30,9	56,46	1,83	0	207,46
7/6/2008	19,30	24,66	30,7	58,54	1,63	0	204,63
8/6/2008	17,40	23,83	30,9	58,92	1,74	0	186,54
9/6/2008	19,80	24,09	29,8	59,75	2,00	0	167,88
10/6/2008	13,10	21,94	31,3	58,17	0,63	0	206,04
11/6/2008	13,80	22,40	31,1	51,33	1,14	0	205,08
12/6/2008	15,00	22,78	30,8	55,96	1,45	0	200,46
13/6/2008	12,90	22,05	30,3	59,88	1,17	0	211,83
14/6/2008	12,40	22,48	31,3	57,67	1,13	0	188,67
15/6/2008	12,80	21,42	31,1	62,50	0,42	0	206,08
16/6/2008	12,30	22,30	31,4	54,71	0,71	0	197,08
17/6/2008	17,00	22,75	29,3	56,17	2,24	0	197,08
18/6/2008	15,50	22,24	30,3	62,63	1,65	0	198,67
19/6/2008	14,60	22,21	30,8	59,96	0,60	0	195,75
20/6/2008	15,10	21,93	29,8	58,29	0,88	0	179,50
21/6/2008	11,90	21,23	30,9	59,29	0,46	0	185,00
22/6/2008	12,40	22,62	31,9	56,08	0,81	0	195,67
23/6/2008	16,90	23,64	30,6	52,17	1,63	0	195,42
24/6/2008	17,50	23,18	30,7	59,79	2,23	0	190,46

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
25/6/2008	16,80	21,76	29,7	62,70	1,65	0	182,60
26/6/2008	14,50	21,61	28,4	62,29	2,21	0	182,50
27/6/2008	17,30	22,15	28,4	62,25	2,54	0	167,79
28/6/2008	15,00	22,23	29,7	61,50	1,99	0	187,25
29/6/2008	18,30	22,61	29,3	58,04	2,19	0	181,29
30/6/2008	11,80	22,73	30,9	54,21	0,95	0	180,25
1/7/2008	15,40	22,67	29,9	63,17	1,38	0	160,88
2/7/2008	16,90	22,63	29,6	62,08	1,95	0	194,13
3/7/2008	15,70	21,75	29,3	57,83	1,30	0	197,92
4/7/2008	12,30	21,99	31,1	54,08	0,73	0	185,58
5/7/2008	16,20	23,02	30,8	53,83	2,06	0	199,21
6/7/2008	15,50	21,94	29,6	57,63	2,17	0	186,83
7/7/2008	13,40	20,82	28,3	56,96	1,78	0	193,00
8/7/2008	12,30	19,42	26,5	55,58	1,96	0	201,29
9/7/2008	14,30	20,20	27,0	50,92	2,15	0	200,54
10/7/2008	14,40	21,31	29,3	58,88	1,63	0	198,83
11/7/2008	18,20	22,52	28,6	59,63	2,65	0	144,79
12/7/2008	15,80	20,61	26,6	58,75	2,55	0	196,46
13/7/2008	13,90	19,94	27,2	53,00	2,86	0	202,58
14/7/2008	11,60	19,29	25,7	63,83	2,13	0	135,71
15/7/2008	12,70	20,02	26,2	65,42	3,03	0	183,75
16/7/2008	14,50	20,17	25,7	65,63	2,70	0	102,92
17/7/2008	12,20	19,55	27,4	56,96	1,23	0	196,00
18/7/2008	12,60	21,00	30,9	53,00	0,91	0	191,88
19/7/2008	9,70	21,60	32,1	47,25	0,68	0	191,92
20/7/2008	12,20	21,50	30,8	47,00	1,33	0	193,79
21/7/2008	8,90	19,88	29,6	48,67	1,41	0	192,83
22/7/2008	13,90	21,26	30,2	48,13	1,12	0	192,54
23/7/2008	10,20	21,73	30,4	51,25	1,18	0	182,04
24/7/2008	10,10	21,36	31,4	50,75	0,60	0	185,25
25/7/2008	10,10	21,41	32,1	45,29	0,64	0	237,33
26/7/2008	9,90	22,10	31,9	42,71	1,54	0	235,42
27/7/2008	15,60	22,00	28,7	57,08	2,28	0	240,96
28/7/2008	16,60	22,49	29,6	55,79	1,88	0	249,17
29/7/2008	15,60	21,29	29,8	49,96	1,59	0	242,67
30/7/2008	10,30	21,16	30,2	53,38	0,94	0	238,38
31/7/2008	12,80	22,93	32,1	47,29	0,97	0	245,67
1/8/2008	15,60	23,03	30,2	50,00	1,30	0	244,13
2/8/2008	14,10	22,28	31,3	49,67	0,56	0	249,38
3/8/2008	11,50	22,93	34,6	47,00	0,67	0	246,29
4/8/2008	12,90	24,98	35,9	39,54	0,32	0	243,38
5/8/2008	19,00	25,51	34,3	49,79	1,52	0	241,70
6/8/2008	15,70	24,62	34,3	53,70	1,45	0	243,40
7/8/2008	16,70	23,10	30,5	54,54	1,62	0	256,54
8/8/2008	13,80	23,50	31,9	51,17	1,10	0	256,33
9/8/2008	14,90	23,20	32,4	48,29	1,07	0	259,75
10/8/2008	15,80	23,60	32,8	41,71	0,87	0	263,75
11/8/2008	15,40	23,41	31,1	44,42	1,67	0	263,62
12/8/2008	14,30	22,50	30,8	48,08	1,34	0	264,16
13/8/2008	13,70	22,60	30,1	48,63	1,43	0	258,41
14/8/2008	15,00	22,10	29,7	51,83	1,72	0	265,66

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
15/8/2008	16,20	22,90	31,2	46,42	1,58	0	267,50
16/8/2008	14,10	23,50	30,6	54,92	1,56	0	196,70
17/8/2008	16,20	22,80	30,5	49,33	1,90	0	268,45
18/8/2008	14,60	21,60	28,8	53,83	1,87	0	243,87
19/8/2008	13,30	21,60	29,1	58,54	1,85	0	224,45
20/8/2008	14,60	22,26	29,2	53,13	2,44	0	265,38
21/8/2008	15,70	22,88	30,6	52,33	1,40	0	225,33
22/8/2008	16,90	24,31	31,7	48,50	0,84	0	249,63
23/8/2008	17,80	24,87	31,0	44,46	2,87	0	268,50
24/8/2008	18,80	23,77	30,4	49,04	2,60	0	236,67
25/8/2008	16,10	23,28	29,9	54,71	2,40	0	247,25
26/8/2008	16,30	23,38	31,5	50,13	1,33	0	268,96
27/8/2008	12,60	23,90	32,4	39,58	0,92	0	278,83
28/8/2008	12,20	23,54	34,1	35,88	0,76	0	282,58
29/8/2008	11,80	24,51	34,3	37,96	0,67	0	259,17
30/8/2008	12,60	25,44	35,4	38,25	0,66	0	243,08
31/8/2008	18,80	25,10	31,6	47,42	2,07	0	258,13
1/9/2008	18,80	24,12	30,2	53,25	2,90	0	272,83
2/9/2008	15,40	22,73	31,9	50,38	1,22	0	258,33
3/9/2008	12,60	23,77	33,1	46,33	0,84	0	283,88
4/9/2008	14,80	24,84	34,7	43,50	0,91	0	287,79
5/9/2008	17,70	25,67	34,7	39,29	1,11	0	288,21
6/9/2008	13,30	25,43	36,7	38,67	0,55	0	287,96
7/9/2008	13,90	27,02	37,6	34,08	0,59	0	286,04
8/9/2008	15,00	26,90	36,3	36,71	0,83	0	280,95
9/9/2008	16,30	25,70	33,1	48,75	2,23	0	281,37
10/9/2008	18,60	24,75	32,2	45,71	2,07	0	291,04
11/9/2008	11,70	24,30	34,0	46,00	1,30	0	270,17
12/9/2008	12,50	24,42	34,9	42,00	0,94	0	279,42
13/9/2008	13,60	24,93	36,8	41,29	0,42	0	260,46
14/9/2008	16,30	26,73	36,9	36,58	0,82	0	235,08
15/9/2008	15,80	26,69	37,3	33,88	1,07	0	262,92
16/9/2008	14,40	25,87	37,1	41,13	0,65	0	270,50
17/9/2008	16,20	26,75	34,8	43,67	0,93	0	230,17
18/9/2008	21,00	27,25	35,2	48,17	1,87	0	245,71
19/9/2008	20,40	25,26	30,2	57,29	2,94	0	177,38
20/9/2008	17,60	25,10	33,2	54,96	1,87	0	280,46
21/9/2008	17,90	24,81	32,7	57,46	0,95	0	207,38
22/9/2008	20,10	25,80	33,3	61,00	1,30	1,2	166,00
23/9/2008	20,10	27,10	34,9	58,00	1,00	8	283,00
24/9/2008	19,80	26,81	35,0	54,13	1,69	1,6	288,40
25/9/2008	20,20	25,84	33,4	62,83	2,03	11,8	285,71
26/9/2008	20,30	24,94	31,3	63,50	1,07	4,8	199,13
27/9/2008	18,50	21,13	25,9	85,63	1,15	2,2	103,63
28/9/2008	18,60	24,68	32,6	68,92	0,54	0	211,42
29/9/2008	19,90	27,75	36,5	52,75	1,12	0	308,13
30/9/2008	21,30	27,45	35,9	58,96	1,52	1,2	289,71
1/10/2008	19,30	27,94	37,3	54,67	0,69	5,4	302,21
2/10/2008	18,60	27,62	37,4	47,67	0,92	0	309,38
3/10/2008	18,80	28,07	36,9	43,96	0,81	0	284,46
4/10/2008	17,40	28,01	38,4	43,71	1,40	0	297,71

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
5/10/2008	15,70	27,25	37,4	44,58	0,99	0	310,83
6/10/2008	16,20	28,30	38,9	38,04	1,05	0	309,58
7/10/2008	19,30	27,49	34,7	44,46	2,23	0	276,96
8/10/2008	21,00	26,74	33,2	45,25	2,82	0	307,71
9/10/2008	20,60	25,55	31,1	53,63	4,53	0	273,96
10/10/2008	18,40	24,03	30,6	57,00	4,27	0	317,71
11/10/2008	16,80	24,41	30,8	56,92	3,44	0	312,58
12/10/2008	18,20	25,96	33,6	52,17	1,80	0	327,29
13/10/2008	17,00	26,71	34,4	46,13	1,96	0	311,08
14/10/2008	19,80	27,62	36,2	43,63	1,30	0	312,54
15/10/2008	16,40	27,03	36,9	44,21	0,53	0	312,92
16/10/2008	16,70	28,15	37,3	39,00	0,64	0	287,29
17/10/2008	17,80	29,15	38,3	35,88	0,83	0	311,38
18/10/2008	19,40	29,19	38,6	36,42	0,97	0	302,54
19/10/2008	19,90	29,44	37,9	40,42	1,21	0	266,33
20/10/2008	24,00	28,31	32,4	45,21	1,70	0	99,96
21/10/2008	22,40	27,77	33,6	43,04	2,90	0	321,50
22/10/2008	20,90	27,08	33,8	48,83	1,80	0	278,92
23/10/2008	21,80	27,53	34,7	43,42	1,67	0	313,96
24/10/2008	18,90	27,00	35,4	41,50	1,21	0	322,88
25/10/2008	16,70	26,92	36,3	38,21	0,98	0	323,75
26/10/2008	16,50	27,59	37,4	36,42	0,62	0	326,21
27/10/2008	19,10	29,59	38,4	34,79	0,65	0	283,83
28/10/2008	19,40	31,02	40,6	29,83	0,79	0	294,67
29/10/2008	20,10	28,19	36,8	36,33	0,86	0	262,46
30/10/2008	16,60	27,73	38,1	42,50	0,58	0	267,71
31/10/2008	18,70	30,71	39,2	37,29	0,76	0	311,63
1/11/2008	22,40	30,20	37,9	39,04	1,96	0	316,13
2/11/2008	21,30	28,65	37,4	38,92	1,48	0	331,50
3/11/2008	15,50	28,74	39,2	33,54	0,78	0	332,92
4/11/2008	18,40	29,89	40,1	32,88	0,71	0	321,71
5/11/2008	21,80	30,82	39,7	33,42	0,68	0	302,96
6/11/2008	21,40	29,99	38,6	36,83	0,85	0	281,08
7/11/2008	21,80	29,33	36,5	42,38	2,10	0	270,92
8/11/2008	21,10	24,88	29,9	75,13	0,63	6,1	88,67
9/11/2008	21,80	27,52	38,6	66,71	0,88	0	265,00
10/11/2008	21,40	25,38	32,4	78,17	0,66	14	140,92
11/11/2008	21,20	24,20	29,9	81,54	0,36	5,2	154,41
12/11/2008	21,50	26,22	33,3	72,42	0,70	0,2	226,75
13/11/2008	21,60	23,46	29,4	87,71	0,66	41,8	100,66
14/11/2008	20,20	25,37	33,5	77,88	0,75	0,6	260,54
15/11/2008	23,00	27,20	34,1	72,58	0,90	0,2	247,66
16/11/2008	22,50	26,13	33,7	79,21	0,52	3,8	151,95
17/11/2008	22,60	26,15	32,3	75,17	1,77	1,2	174,41
18/11/2008	21,70	23,60	26,4	82,00	2,10	0,2	83,00
19/11/2008	21,70	23,60	26,4	82,00	2,10	0	83,00
20/11/2008	21,70	23,60	26,4	82,00	2,10	0	83,00
21/11/2008	21,70	23,60	26,4	82,00	2,10	0	83,00
22/11/2008	21,70	23,60	26,4	82,00	2,10	0	83,00
23/11/2008	21,70	23,60	26,4	82,00	2,10	0	83,00
24/11/2008	21,70	23,60	26,4	82,00	2,10	0	83,00

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
25/11/2008	20,20	23,70	30,6	82,88	0,58	4,2	161,00
26/11/2008	19,70	24,23	32,6	80,17	0,97	1,6	224,08
27/11/2008	20,80	22,72	25,1	88,71	0,56	10,0	118,54
28/11/2008	21,10	22,72	27,4	88,79	0,30	11,2	143,87
29/11/2008	20,30	21,13	22,2	94,92	0,41	20,4	78,04
30/11/2008	20,60	23,40	29,1	86,96	0,55	5,0	172,54
1/12/2008	20,40	24,26	29,3	85,50	0,59	3,8	182,62
2/12/2008	20,60	23,46	29,9	87,71	0,71	2,4	199,45
3/12/2008	21,80	24,30	30,4	87,40	1,40	42,8	198,40
4/12/2008	21,90	23,20	29,1	92,60	1,00	14,4	134,50
5/12/2008	20,60	23,30	29,3	90,30	0,90	5,8	151,50
6/12/2008	20,70	24,20	29,4	84,70	1,30	3,4	190,80
7/12/2008	21,20	24,20	28,9	83,00	1,10	0,6	160,10
8/12/2008	20,40	24,10	28,9	79,10	1,40	0	240,90
9/12/2008	19,10	25,30	31,2	72,60	0,90	0	322,70
10/12/2008	19,20	25,60	32,4	68,40	0,60	0	332,80
11/12/2008	18,10	26,10	34,3	66,90	0,50	0	325,10
12/12/2008	19,70	26,80	34,1	66,90	0,80	0	334,00
13/12/2008	20,70	25,50	33,1	75,00	0,90	0	251,80
14/12/2008	20,30	24,20	28,7	82,60	0,70	0	157,00
15/12/2008	20,10	24,10	31,8	81,80	0,70	3,8	223,30
16/12/2008	20,30	22,70	27,2	90,50	0,90	17,4	142,80
17/12/2008	20,10	23,60	29,7	85,40	1,00	0	195,00
18/12/2008	21,70	23,70	29,0	88,00	0,30	0,4	123,10
19/12/2008	19,90	24,80	30,2	80,10	0,40	0	181,50
20/12/2008	19,00	24,70	31,1	68,60	1,00	0	321,00
21/12/2008	21,00	25,30	31,2	72,10	0,90	0	275,00
22/12/2008	20,70	22,50	27,8	89,30	0,40	26,6	95,90
23/12/2008	20,60	23,10	29,1	88,40	0,60	0,2	203,60
24/12/2008	20,90	23,40	28,1	87,50	0,60	0,2	185,70
25/12/2008	20,60	23,00	29,1	90,10	0,60	3,6	164,80
26/12/2008	20,90	24,40	30,8	85,50	0,90	14,6	235,50
27/12/2008	21,50	24,70	29,9	86,80	0,40	0	187,40
28/12/2008	20,10	26,00	31,9	80,50	0,50	0,2	274,30
29/12/2008	21,90	26,50	32,6	73,10	0,20	0	307,40
30/12/2008	18,20	25,30	31,6	72,00	0,50	0	307,30
31/12/2008	19,60	26,20	33,6	70,20	0,20	0	329,40
1/1/2009	19,20	27,10	34,3	69,20	0,20	0	361,10
2/1/2009	21,10	27,50	33,1	73,90	0,50	0	321,50
3/1/2009	20,10	23,70	30,8	87,10	0,40	31,2	195,80
4/1/2009	20,90	24,00	29,8	88,10	0,50	1,6	209,20
5/1/2009	20,40	23,70	28,8	89,30	1,10	26,4	219,50
6/1/2009	20,50	23,10	28,8	90,60	0,60	16,0	203,50
7/1/2009	20,20	23,80	29,6	87,10	0,60	68,8	258,10
8/1/2009	20,40	24,70	30,8	85,40	0,20	5	252,30
9/1/2009	21,50	25,70	31,2	77,80	0,50	0	252,20
10/1/2009	20,40	25,40	30,7	72,20	1,30	0	290,90
11/1/2009	19,20	24,10	29,8	77,70	1,00	0,2	254,30
12/1/2009	21,30	24,50	30,2	84,50	0,80	7,4	210,10
13/1/2009	19,50	24,60	31,7	81,50	0,60	0,4	308,40
14/1/2009	19,10	24,90	31,8	74,80	0,40	0,2	333,00

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
15/1/2009	18,20	24,80	31,9	74,90	0,40	0	308,70
16/1/2009	19,90	26,40	32,7	75,60	0,60	0	327,00
17/1/2009	21,80	25,80	31,8	79,50	0,60	0,8	281,10
18/1/2009	20,40	25,70	33,8	80,30	0,60	29,2	316,50
19/1/2009	21,50	25,40	32,0	83,50	0,20	5,4	258,30
20/1/2009	21,70	25,10	31,2	84,00	0,20	2	236,30
21/1/2009	20,80	25,10	32,3	85,00	0,50	3,6	264,10
22/1/2009	21,50	25,30	30,6	82,40	0,20	11,4	207,70
23/1/2009	21,40	23,90	29,2	88,60	0,40	0,2	185,30
24/1/2009	21,00	25,50	31,2	80,70	0,40	0,2	263,60
25/1/2009	21,40	26,20	32,2	76,30	0,80	16,2	314,70
26/1/2009	20,80	24,90	30,7	84,80	0,40	17,8	272,50
27/1/2009	21,00	25,90	31,2	80,00	0,50	0	261,20
28/1/2009	20,90	25,60	31,2	77,80	0,20	0	292,80
29/1/2009	18,70	25,10	31,3	73,00	0,20	0	307,80
30/1/2009	18,70	25,10	31,3	73,00	0,20	0	307,80
31/1/2009	17,80	26,20	33,2	70,80	0,20	0	342,50
1/2/2009	19,80	26,70	33,5	70,00	0,20	0	339,20
2/2/2009	19,90	27,00	33,0	68,10	0,40	0	335,30
3/2/2009	18,90	25,70	32,1	70,50	0,30	0	298,60
4/2/2009	19,80	26,60	32,8	71,70	0,40	0	331,90
5/2/2009	20,20	26,80	33,9	72,50	0,20	0	330,00
6/2/2009	21,10	26,70	33,7	75,10	0,40	0	320,00
7/2/2009	21,00	27,70	34,3	71,50	0,20	0	295,70
8/2/2009	22,00	27,40	34,3	74,30	0,30	8,4	336,80
9/2/2009	20,80	26,40	33,1	77,60	0,40	0,2	338,10
10/2/2009	21,30	26,80	33,2	78,20	0,40	9,6	331,10
11/2/2009	21,10	27,20	33,2	74,20	0,20	0	321,20
12/2/2009	19,70	26,40	32,9	73,80	0,20	0	298,40
13/2/2009	21,70	25,60	32,4	79,90	0,30	0	215,40
14/2/2009	19,70	23,10	29,9	87,50	0,60	38,2	221,00
15/2/2009	19,80	24,60	30,7	78,80	0,50	0	285,60
16/2/2009	19,90	25,20	30,8	73,10	0,70	0	308,70
17/2/2009	19,60	25,30	31,7	73,20	0,90	0	328,80
18/2/2009	20,20	25,50	31,3	72,20	1,20	0	275,80
19/2/2009	18,70	24,60	30,4	73,60	0,40	0	273,70
20/2/2009	19,00	25,00	32,1	71,20	0,60	0	334,80
21/2/2009	16,50	25,50	33,3	67,20	0,20	0	328,00
22/2/2009	17,90	27,10	34,7	65,70	0,30	0	323,00
23/2/2009	18,90	26,40	32,9	68,50	0,20	0	300,90
24/2/2009	20,60	25,30	32,9	76,80	0,50	6,6	282,60
25/2/2009	20,00	25,70	33,1	73,60	0,60	0	290,40
26/2/2009	19,80	26,30	34,0	70,80	0,80	0	332,00
27/2/2009	20,00	26,40	32,8	67,80	0,90	0	301,10
28/2/2009	21,30	27,00	33,9	66,40	0,50	0	301,90
1/3/2009	20,10	26,70	34,5	64,00	0,40	0	326,30
2/3/2009	20,20	27,10	35,2	60,00	0,50	0	331,00
3/3/2009	18,80	27,00	34,8	59,50	0,30	0	321,50
4/3/2009	17,60	27,40	36,5	57,60	0,10	0	327,50
5/3/2009	19,40	28,50	37,3	58,70	0,30	0	317,70
6/3/2009	20,80	28,00	34,3	66,20	0,70	0	284,40

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
7/3/2009	20,50	25,50	32,2	81,40	0,40	16,8	276,90
8/3/2009	20,10	26,20	33,2	73,50	0,50	0	251,60
9/3/2009	22,40	26,30	33,5	76,20	0,30	0,8	232,50
10/3/2009	18,20	26,20	33,8	70,40	0,40	0,2	329,80
11/3/2009	20,20	27,00	34,6	61,20	0,60	0	319,10
12/3/2009	17,90	26,20	34,9	61,30	0,60	0	319,10
13/3/2009	17,20	26,20	35,1	63,20	0,30	0	298,80
14/3/2009	16,70	26,30	36,1	62,60	0,40	0	314,90
15/3/2009	18,10	26,90	36,0	67,90	0,40	0	277,20
16/3/2009	21,80	27,20	33,8	72,20	0,60	12,2	296,30
17/3/2009	20,90	26,10	34,2	73,20	0,30	0,8	246,20
18/3/2009	20,60	26,80	34,0	68,70	0,50	0	247,30
19/3/2009	21,00	26,00	33,2	71,50	0,90	0,2	223,90
20/3/2009	20,30	26,70	33,7	63,30	0,90	0	290,80
21/3/2009	21,60	27,00	34,4	68,30	0,90	0	292,10
22/3/2009	21,90	27,60	35,0	68,30	0,30	0,2	245,10
23/3/2009	21,40	24,70	30,9	79,30	0,80	0,2	159,40
24/3/2009	20,80	25,00	33,6	80,30	1,00	0,2	256,00
25/3/2009	21,00	25,60	32,6	78,30	0,40	0,2	228,80
26/3/2009	21,70	24,00	29,5	87,50	0,60	9,8	124,40
27/3/2009	20,30	22,70	26,5	88,20	1,00	13	161,60
28/3/2009	17,40	24,80	33,1	75,90	0,30	0,2	289,00
29/3/2009	21,40	25,50	31,2	79,90	0,80	0	211,50
30/3/2009	19,90	24,90	33,0	81,10	0,90	0	235,30
31/3/2009	19,90	25,40	34,2	80,00	0,70	2	215,00
1/4/2009	21,20	25,30	32,7	81,10	0,70	16	272,90
2/4/2009	21,50	25,00	31,9	84,80	0,20	13,8	191,40
3/4/2009	22,50	23,90	27,9	88,90	0,50	1,6	96,10
4/4/2009	21,40	25,20	30,8	78,80	0,40	0,6	216,90
5/4/2009	20,50	25,10	32,5	80,70	0,40	0,6	237,00
6/4/2009	20,70	22,70	25,9	91,90	0,50	13,8	105,50
7/4/2009	18,90	25,40	32,8	79,30	0,50	0,2	285,40
8/4/2009	21,60	24,60	31,9	82,40	0,90	0	196,30
9/4/2009	20,50	24,60	32,6	84,00	0,40	25,4	218,60
10/4/2009	19,90	23,90	31,4	87,40	0,30	4	188,00
11/4/2009	21,40	24,40	30,2	86,10	0,40	1,6	165,90
12/4/2009	22,20	25,30	30,6	80,30	0,70	0	199,40
13/4/2009	21,10	24,20	28,1	79,40	0,80	0	151,00
14/4/2009	20,50	24,80	30,7	75,80	0,50	0	242,00
15/4/2009	18,80	25,40	32,6	74,60	0,20	0	245,00
16/4/2009	20,80	25,00	30,6	75,70	1,00	0	207,00
17/4/2009	20,10	23,90	28,1	76,40	1,20	0	173,20
18/4/2009	18,70	23,10	29,1	74,60	0,90	0	257,70
19/4/2009	18,30	23,90	30,3	72,60	0,70	0	264,30
20/4/2009	19,10	24,70	31,7	69,50	0,30	0	258,60
21/4/2009	19,40	25,00	30,8	70,90	0,80	0	245,60
22/4/2009	18,40	24,30	31,2	67,80	0,80	0	245,80
23/4/2009	17,60	23,60	29,7	78,40	0,30	0	204,60
24/4/2009	19,20	24,40	31,1	77,00	0,10	0	166,30
25/4/2009	18,90	24,70	31,6	75,30	0,60	0	205,20
26/4/2009	20,90	23,80	29,6	83,10	0,50	0	144,30

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
27/4/2009	20,20	25,40	32,6	77,00	0,10	0	193,50
28/4/2009	21,30	24,10	31,8	85,10	0,60	15,2	166,60
29/4/2009	20,20	22,20	25,5	90,50	0,20	10,6	100,10
30/4/2009	19,70	24,60	30,6	78,10	0,10	0	196,00
1/5/2009	20,70	23,10	26,2	81,80	0,30	0,8	95,10
2/5/2009	18,10	21,30	25,3	84,40	0,30	2,6	117,80
3/5/2009	16,70	22,10	29,1	76,20	0,60	0,2	204,90
4/5/2009	15,40	21,10	25,5	80,80	0,40	0	117,70
5/5/2009	18,30	21,70	25,7	83,80	0,50	0	116,70
6/5/2009	14,30	22,70	30,6	77,60	0,20	0	243,80
7/5/2009	16,30	24,40	32,4	69,80	0,10	0	221,60
8/5/2009	18,70	24,60	30,7	70,50	0,40	0	186,20
9/5/2009	18,30	24,00	31,2	71,60	0,50	0	220,50
10/5/2009	16,50	23,20	30,3	71,00	0,50	0	214,60
11/5/2009	15,10	23,00	30,8	69,00	0,30	0	230,50
12/5/2009	16,00	23,60	31,2	66,50	0,40	0	227,50
13/5/2009	16,90	23,20	31,4	66,70	0,40	0	230,90
14/5/2009	17,20	23,20	32,1	68,30	0,40	0	238,40
15/5/2009	15,70	23,80	31,9	70,30	0,30	0	211,70
16/5/2009	17,80	23,70	30,6	76,30	0,50	0	139,00
17/5/2009	19,70	24,60	31,6	74,90	1,50	0,6	187,30
18/5/2009	19,90	23,70	28,8	71,30	2,20	0	171,10
19/5/2009	18,70	22,40	27,0	71,40	0,90	0	144,60
20/5/2009	18,30	21,90	27,6	63,10	2,00	0	178,60
21/5/2009	16,40	21,30	28,3	63,10	1,60	0	232,80
22/5/2009	16,70	23,10	30,2	65,00	2,00	0	224,50
23/5/2009	17,70	23,20	28,2	70,00	1,50	0	136,50
24/5/2009	15,70	22,90	29,5	65,10	1,00	0	218,70
25/5/2009	13,00	21,50	29,6	65,00	0,70	0	222,60
26/5/2009	10,90	20,20	30,1	70,30	0,30	0	196,20
27/5/2009	13,10	21,70	31,2	62,00	0,50	0	223,70
28/5/2009	13,10	23,40	32,4	68,90	0,70	0	215,30
29/5/2009	18,90	25,40	32,4	67,50	0,60	0	213,70
30/5/2009	19,40	24,80	31,5	67,80	1,10	0	203,50
31/5/2009	18,40	23,90	31,9	70,00	0,50	0	219,50
1/6/2009	19,50	24,0	30,6	75,70	0,70	0	155,40
2/6/2009	17,60	23,50	29,4	79,50	1,20	0	213,00
3/6/2009	18,40	22,20	27,6	72,00	1,30	0	131,700
4/6/2009	18,10	22,60	28,5	69,10	1,20	0	102,60
5/6/2009	17,90	23,80	30,8	69,80	1,20	0	214,60
6/6/2009	19,60	24,80	31,6	62,10	1,40	0	217,30
7/6/2009	19,30	24,00	30,6	65,60	1,90	0	195,90
8/6/2009	13,70	22,00	27,4	68,10	2,30	0	139,70
9/6/2009	15,00	22,20	29,3	64,90	0,70	0	213,10
10/6/2009	16,20	23,10	30,4	65,90	0,40	0	196,70
11/6/2009	16,70	23,70	30,9	67,30	0,30	0	216,70
12/6/2009	14,10	23,00	30,7	67,60	0,20	0	173,20
13/6/2009	16,70	23,10	30,1	68,00	0,70	0	193,00
14/6/2009	18,60	23,90	31,1	65,00	0,80	0	203,60
15/6/2009	17,60	23,10	30,4	65,30	0,70	0	210,70
16/6/2009	13,30	21,30	30,4	69,10	0,20	0	192,10

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
17/6/2009	12,60	22,30	31,2	66,10	0,30	0	210,00
18/6/2009	15,80	23,50	31,7	64,50	0,40	0	203,10
19/6/2009	15,40	23,40	31,0	62,80	0,70	0	213,70
20/6/2009	15,90	22,40	29,1	60,30	1,30	0	223,50
21/6/2009	15,40	21,00	28,2	58,60	1,20	0	222,30
22/6/2009	15,60	21,40	29,8	61,30	0,70	0	212,70
23/6/2009	16,10	22,10	30,6	62,60	0,30	0	218,70
24/6/2009	12,60	22,60	32,2	62,90	0,20	0	210,80
25/6/2009	14,80	24,20	32,8	57,80	0,40	0	229,80
26/6/2009	15,00	24,00	32,1	57,50	0,30	0	207,90
27/6/2009	17,80	23,90	31,2	59,70	1,00	0	207,00
28/6/2009	17,20	23,20	30,6	66,50	0,70	0	198,10
29/6/2009	16,30	23,00	31,0	63,90	0,60	0	200,10
30/6/2009	15,00	22,60	30,6	60,50	0,50	0	205,30
1/7/2009	10,10	21,20	30,8	54,90	0,30	0	224,90
2/7/2009	10,30	21,60	30,9	51,80	0,40	0	226,00
3/7/2009	15,70	23,40	31,6	44,90	0,30	0	224,20
4/7/2009	17,20	23,30	30,6	53,50	0,80	0	216,00
5/7/2009	16,00	23,00	29,7	56,00	1,00	0	224,60
6/7/2009	13,90	21,90	28,6	63,00	1,80	0	207,50
7/7/2009	17,80	21,70	27,2	67,80	1,70	0	128,90
8/7/2009	15,70	22,40	28,3	66,00	1,00	0	172,50
9/7/2009	16,40	21,90	26,2	70,00	1,30	1,4	132,50
10/7/2009	16,70	22,90	30,9	69,40	0,70	0,2	224,30
11/7/2009	15,30	22,30	30,9	70,20	0,50	0	159,80
12/7/2009	17,40	24,70	33,9	62,00	0,30	0	216,10
13/7/2009	16,30	25,70	33,5	59,30	0,60	0	201,30
14/7/2009	17,70	24,10	31,8	59,20	0,60	0	224,00
15/7/2009	16,60	23,20	30,4	60,80	1,40	0	227,80
16/7/2009	17,10	22,20	28,6	64,30	1,80	0	198,00
17/7/2009	16,70	23,30	30,6	58,60	1,30	0	209,80
18/7/2009	16,00	22,50	30,6	61,30	0,70	0	199,00
19/7/2009	11,10	21,20	30,9	59,20	0,30	0	230,60
20/7/2009	11,10	22,20	32,9	55,00	0,20	0	228,40
21/7/2009	18,00	24,80	32,9	55,00	0,60	0	236,80
22/7/2009	16,20	23,80	32,7	59,60	0,40	0	228,90
23/7/2009	14,70	24,50	33,3	55,30	0,30	0	226,40
24/7/2009	13,90	24,70	33,9	51,80	0,30	0	228,10
25/7/2009	15,10	23,90	31,4	54,00	1,00	0	217,10
26/7/2009	15,60	22,40	30,0	51,80	1,00	0	236,60
27/7/2009	14,30	22,70	32,1	49,50	0,50	0	237,30
28/7/2009	14,40	23,90	33,9	48,00	0,30	0	235,70
29/7/2009	11,60	22,60	33,3	49,80	0,50	0	236,00
30/7/2009	9,50	22,40	33,3	46,30	0,50	0	233,70
31/7/2009	17,40	23,30	31,1	49,30	1,20	0	242,80
1/8/2009	16,80	24,10	31,0	57,80	0,90	0	218,80
2/8/2009	18,10	24,70	31,6	58,80	0,70	0	208,30
3/8/2009	15,40	24,50	33,2	52,70	0,40	0	230,00
4/8/2009	13,40	23,90	32,4	49,30	0,80	0	241,10
5/8/2009	15,60	22,80	32,1	49,70	0,80	0	239,30
6/8/2009	15,90	23,00	32,1	48,10	0,50	0	237,40

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
7/8/2009	12,30	22,90	31,9	43,60	0,80	0	246,10
8/8/2009	16,60	23,40	29,5	52,90	1,00	0	171,50
9/8/2009	16,80	23,20	31,7	51,60	0,70	0	246,10
10/8/2009	11,90	22,70	33,2	53,10	0,30	0	250,80
11/8/2009	12,90	25,00	34,2	48,00	0,60	0	248,50
12/8/2009	19,60	24,30	30,3	53,80	2,10	0	245,40
13/8/2009	16,70	22,40	29,0	62,00	1,80	0	223,90
14/8/2009	16,00	22,10	29,3	61,30	1,30	0	196,80
15/8/2009	16,30	23,00	29,8	58,60	1,40	0	226,30
16/8/2009	16,80	23,50	30,8	57,40	1,60	0	212,00
17/8/2009	16,70	23,60	31,2	53,80	1,00	0	263,00
18/8/2009	16,60	23,60	32,3	55,50	0,30	0	256,70
19/8/2009	13,30	24,20	34,2	52,00	0,40	0	254,50
20/8/2009	14,90	25,30	36,6	50,80	0,40	0	264,90
21/8/2009	15,20	27,10	36,6	45,40	0,90	0	253,30
22/8/2009	21,70	26,40	32,9	56,70	2,70	0	240,10
23/8/2009	18,20	23,90	30,6	61,80	2,00	0	222,80
24/8/2009	17,70	23,90	31,4	61,00	0,70	0	229,60
25/8/2009	18,70	25,30	32,6	57,50	0,70	0	260,00
26/8/2009	20,90	25,00	30,6	55,40	2,40	0	260,00
27/8/2009	19,40	24,80	31,2	58,20	1,30	0,2	250,00
28/8/2009	20,70	25,30	30,8	59,40	0,80	0	250,00
29/8/2009	19,80	24,80	31,0	59,50	1,50	0	250,00
30/8/2009	18,60	25,20	31,1	56,90	1,70	0	250,00
31/8/2009	17,30	24,30	30,9	55,20	1,20	0	250,00
1/9/2009	15,60	24,60	33,3	53,40	0,30	0	250,00
2/9/2009	17,30	27,00	34,5	48,80	0,50	0	250,00
3/9/2009	17,00	26,60	35,8	48,80	0,30	0	250,00
4/9/2009	16,60	27,30	36,9	46,00	0,40	0	250,00
5/9/2009	19,20	28,90	37,2	48,40	0,50	0	250,00
6/9/2009	21,60	28,50	36,7	55,80	0,70	0	244,90
7/9/2009	21,60	26,00	32,0	65,50	0,80	0	149,00
8/9/2009	20,80	27,00	34,4	60,80	0,60	0	220,80
9/9/2009	22,10	27,40	33,1	47,50	1,50	0	279,60
10/9/2009	19,30	25,70	31,8	52,00	1,70	0	258,40
11/9/2009	19,70	24,80	29,8	58,50	1,40	0	170,60
12/9/2009	21,00	26,10	32,3	48,30	1,50	0	255,00
13/9/2009	16,70	25,30	33,4	50,10	1,00	0	285,40
14/9/2009	16,60	26,40	34,9	44,50	0,40	0	284,80
15/9/2009	18,60	27,30	35,2	42,40	1,10	0	284,70
16/9/2009	19,80	26,81	35,0	54,13	1,69	0	288,40
17/9/2009	20,20	25,84	33,4	62,83	2,03	0	285,71
18/9/2009	20,30	24,94	31,3	63,50	1,07	0	199,13
19/9/2009	18,50	21,13	25,9	85,63	1,15	0	103,63
20/9/2009	18,60	24,68	32,6	68,92	0,54	0	211,42
21/9/2009	19,90	27,75	36,5	52,75	1,12	0	308,13
22/9/2009	21,30	27,45	35,9	58,96	1,52	0	289,71
23/9/2009	19,30	27,94	37,3	54,67	0,69	0	302,21
24/9/2009	18,60	27,62	37,4	47,67	0,92	0	309,38
25/9/2009	18,80	28,07	36,9	43,96	0,81	0	284,46
26/9/2009	17,40	28,01	38,4	43,71	1,40	0	297,71

Continua...

Tabela 3B, cont.

Data	Tn (°C)	Tm (°C)	Tx (°C)	UR (%)	VV (m s ⁻¹)	Prec (mm)	Rad (W m ⁻²)
27/9/2009	15,70	27,25	37,4	44,58	0,99	0	310,83
28/9/2009	16,20	28,30	38,9	38,04	1,05	0	309,58
29/9/2009	19,30	27,49	34,7	44,46	2,23	0	276,96
30/9/2009	21,00	26,74	33,2	45,25	2,82	0	307,71
1/10/2009	20,60	25,55	31,1	53,63	4,53	0	273,96
2/10/2009	18,40	24,03	30,6	57,00	4,27	0	317,71
3/10/2009	16,80	24,41	30,8	56,92	3,44	0	312,58
4/10/2009	18,20	25,96	33,6	52,17	1,80	0	327,29
5/10/2009	17,00	26,71	34,4	46,13	1,96	0	311,08
6/10/2009	19,80	27,62	36,2	43,63	1,30	0	312,54
7/10/2009	16,40	27,03	36,9	44,21	0,53	0	312,92