

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de  
cana-de-açúcar**

**Rafael Maschio**

**Dissertação apresentada para obtenção do título  
de Mestre em Ciências. Área de concentração:  
Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba  
2011**

Rafael Maschio  
Engenheiro Agrônomo

**Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**  
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientador:  
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título  
de Mestre em Ciências. Área de concentração:  
Irrigação e Drenagem

**Piracicaba**  
**2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/ USP**

Maschio, Rafael

Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar /  
Rafael Maschio. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010. --  
Piracicaba, 2011.  
87 p. : il.

Dissertação (Mestrado) -- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Água 2. Cana-de-açúcar 3. Deficiência hídrica 4. Energia de biomassa 5. Irrigação  
6. Produtividade I. Título

CDD 633.61  
M395p

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O autor"**

Aos meus pais Valdocir Maschio e Lorizete Perera Maschio por todo o carinho e exemplo de vida; aos meus irmãos Vinicius Maschio e Débora Maschio pelo apoio, amizade e companheirismo.

***DEDICO***

A todos os meus amigos e companheiros pela amizade e ajuda durante este tempo longe da família; a todos os professores que contribuíram para minha formação.

***OFEREÇO***



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha família que sempre me apoiou e me deu força durante minhas escolhas, não deixando que nada me faltasse.

Ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), pela oportunidade de realização do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A todo o pessoal do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), local onde realizei a maior parte do curso.

A todos os professores deste departamento pelos ensinamentos transmitidos que contribuíram de maneira significativa na minha formação acadêmica e pessoal.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho pela confiança, amizade, ajuda e contribuições científicas, sem as quais este trabalho não seria realizado.

A usina Costa Pinto (Grupo Cosan), na pessoa do Eng. Agrônomo João Américo, pelas orientações e pelo fornecimento das variedades.

Aos amigos de moradia Everaldo Moreira e Marcelo Abritta, pelos momentos de alegria e pela amizade.

A instituição Universidade Federal de Piauí, local onde realizei meu curso de graduação e adquiri os conhecimentos necessários para ingressar no mestrado.

A Embrapa Meio-Norte, na pessoa do Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, pelo longo tempo de convivência, aprendizagem e conhecimentos adquiridos, de fundamental importância para o ingresso neste curso.

A todos os amigos que fiz durante este período na ESALQ, em especial aos pós-graduandos Fernando da Silva Barbosa, Lucas Faria, Carlos José Gonçalves, Francisco Villaça, Robson Mauri, Lucas Vellame, Renato Moreira, Eusímio Fraga, Alexsandro Almeida e César Silva que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

A todos os pós-graduandos com quem convivi neste período, pela amizade e pelo compartilhamento de idéias e experiências.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	11
LISTA DE FIGURAS .....	13
LISTA DE TABELAS .....	15
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 DESENVOLVIMENTO.....	23
2.1 Revisão Bibliográfica .....	23
2.1.1 A cultura da cana-de-açúcar .....	23
2.1.1.1 Aspectos gerais .....	23
2.1.1.2 Variedades de cana-de-açúcar .....	24
2.1.1.3 Consumo hídrico e produtividade da cana-de-açúcar .....	25
2.1.1.4 Deficiência hídrica em cana-de-açúcar.....	26
2.1.1.5 Produtividade da água em cana-de-açúcar .....	27
2.1.1.6 Biomassa da cana-de-açúcar e co-geração de energia.....	29
2.2 Material e Métodos.....	30
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	30
2.2.2 Caracterização química e físico-hídrica dos solos.....	32
2.2.3 Monitoramento climático .....	33
2.2.4 Tratamentos e delineamento experimental .....	33
2.2.5 Manejo da irrigação e fertirrigação .....	36
2.2.6 Cultivo e tratos culturais.....	38
2.2.7 Características avaliadas.....	38
2.2.7.1 Biomassa fresca de colmos (BFC) .....	39
2.2.7.2 Análise dos parâmetros tecnológicos dos colmos .....	39
2.2.7.3 Rendimento bruto de açúcar (RBA).....	41
2.2.7.4 Biomassa seca da parte aérea (Palhiço e Bagaço) .....	41
2.2.7.5 Energia da biomassa da parte aérea.....	41
2.2.7.6 Produtividade da água (PA).....	42
2.2.8 Análise estatística .....	42
2.3 Resultados e Discussão.....	43
2.3.1 Dados climáticos .....	44
2.3.2 Consumo hídrico e produtividade de colmos .....	45
2.3.2.1 Considerações gerais .....	45
2.3.2.2 Considerações sobre o experimento 1 .....	49
2.3.2.3 Considerações sobre o experimento 2 .....	50
2.3.3 Parâmetros tecnológicos dos colmos.....	52
2.3.3.1 Considerações gerais .....	52
2.3.3.2 Considerações sobre o experimento 1 .....	52
2.3.3.3 Considerações sobre o experimento 2 .....	55
2.3.4 Rendimento bruto de açúcar (RBA) .....	55
2.3.4.1 Considerações gerais .....	55
2.3.4.2 Considerações sobre o experimento 1 .....	57
2.3.4.3 Considerações sobre o experimento 2 .....	58
2.3.5 Produtividade de biomassa seca da parte aérea (Palhiço e Bagaço).....	60



2.3.5.1 Considerações gerais.....	60
2.3.5.2 Considerações sobre o experimento 1.....	60
2.3.5.3 Considerações sobre o experimento 2.....	63
2.3.6 Partição de energia da biomassa e energia total.....	63
2.3.6.1 Considerações gerais.....	63
2.3.6.2 Considerações sobre o experimento 1.....	66
2.3.6.3 Considerações sobre o experimento 2.....	66
2.3.7 Produtividade da água (PA).....	66
2.3.7.1 Produtividade da água em biomassa fresca de colmos ( $PA_{BFC}$ ).....	66
2.3.7.1.1 Considerações gerais.....	66
2.3.7.1.2 Considerações sobre o experimento 1.....	68
2.3.7.1.3 Considerações sobre o experimento 2.....	69
2.3.7.2 Produtividade da água em biomassa de açúcar total recuperável ( $PA_{BATR}$ ).....	70
2.3.7.2.1 Considerações gerais.....	70
2.3.7.2.2 Considerações sobre o experimento 1.....	71
2.3.7.2.3 Considerações sobre o experimento 2.....	72
2.3.7.3 Produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea ( $PA_{BTPA}$ ).....	73
2.3.7.3.1 Considerações gerais.....	73
2.3.7.3.2 Considerações sobre o experimento 1.....	75
2.3.7.3.3 Considerações sobre o experimento 2.....	76
2.3.7.4 Produtividade da água em energia total da parte aérea ( $PA_{ET}$ ).....	76
2.3.7.4.1 Considerações gerais.....	76
2.3.7.4.2 Considerações sobre o experimento 1.....	78
2.3.7.4.3 Considerações sobre o experimento 2.....	79
3 CONCLUSÕES.....	81
REFERÊNCIAS.....	83

## RESUMO

### **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**

O objetivo deste estudo foi quantificar a produtividade de biomassa e energia (parte aérea), bem como a produtividade da água (PA) em 24 variedades de cana-de-açúcar, submetidas à irrigação plena e ao déficit hídrico, durante o estágio de crescimento dos colmos. Foram instalados dois experimentos, em casa de vegetação, na área do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP, Piracicaba, SP. O Experimento-1 avaliou dez variedades de cana-de-açúcar em solo de textura argilosa (RB835054, RB855453, RB855536, RB925211, RB867515, SP89-1115, SP81-3250, CTC14, CTC8 e CTC6) e o Experimento-2, quatorze variedades em solo de textura franco-arenosa (RB925345, RB855156, RB966928, RB72454, RB92579, IACSP95-5000, Caiana, SP83-2847, SP90-3414, SP79-1011, CTC17, CTC15, CTC9 e CTC2). Para ambos os experimentos foram adotadas duas formas de manejo da irrigação: T100 - irrigação plena com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), mantendo-se o solo com umidade próxima a capacidade de campo, e T70 - irrigação com 70% da lâmina de reposição de T100. A diferenciação das irrigações iniciou-se aos 101 dias após o corte (DAC) da cana-planta, correspondendo ao final do perfilhamento intenso e início da fase de crescimento dos colmos (1ª soca). Observou-se variação na produtividade da água em biomassa fresca de colmos ( $PA_{BFC}$ ) na ordem de 16,22 a 29,21 kg m<sup>-3</sup> em função das variedades e dos manejos de irrigação aplicados. Destacaram-se as variedades CTC6, CTC14, RB867515, SP81-3250 e RB92579, em T100, e as variedades CTC6, CTC14 e SP90-3414, em T70. Em termos de produtividade da água em biomassa de açúcar total recuperável ( $PA_{BATR}$ ), observou-se variação entre 1,95 e 3,84 kg m<sup>-3</sup>, destacando-se as variedades CTC6 e RB92579 (T100) e as variedades RB835054 e RB966928 (T70). A produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea ( $PA_{BTPA}$ ) variou entre 6,98 e 11,94 kg m<sup>-3</sup> com destaque para as variedades RB92579 e SP81-3250 (T100), e SP90-3414 e SP81-3250 (T70). Para a produtividade da água em energia total ( $PA_{TOT}$ ), verificou-se variação entre 101,17 e 174,65 MJ m<sup>-3</sup>, com melhores desempenhos para as variedades SP81-3250, CTC6, CTC17 e RB92579 (T100), e SP90-3414, SP81-3250 e CTC6 (T70).

Palavras-chave: Demanda hídrica; Irrigação; Déficit hídrico; Partição de fotoassimilados



## ABSTRACT

### Water productivity in biomass and energy for 24 sugarcane varieties

The purpose of this study was to observe the response on biomass yield and energy (shoot) as well as the water productivity (WP) for 24 sugarcane varieties, subjected to full and deficit irrigation during stalk growth stage. Two experiments were established under greenhouse conditions on Biosystems Engineering Department, ESALQ/USP, Piracicaba, SP. The Experiment - 1 evaluated ten varieties on a clay soil (RB835054, RB855453, RB855536, RB925211, RB867515, SP89-1115, SP81-3250, CTC14, CTC8 e CTC6) and the Experiment - 2, fourteen varieties on a sandy-loam soil (RB925345, RB855156, RB966928, RB72454, RB92579, IACSP95-5000, Caiana, SP83-2847, SP90-3414, SP79-1011, CTC17, CTC15, CTC9 e CTC2). In both experiments were adopted two forms of irrigation management: T100 - full irrigation with 100% crop evapotranspiration replacement, maintaining soil moisture near field capacity, and T70 - irrigation with 70% of water depth applied in T100. The differentiation of irrigations was initiated at 101 days after harvest (DAH) of cane-plant, corresponding to the end of tillering and the beginning of intense stalk growth phase (first ratoon). It was observed variation in water productivity of stalk fresh biomass ( $WP_{SFB}$ ) from 16.22 to 29.21  $\text{kg m}^{-3}$ , according of the varieties and irrigation management applied. The highest values were observed in varieties CTC6, CTC14, RB867515, SP81-3250 and RB92579, full irrigation conditions (T100), and CTC6, CTC14 and SP90-3414, deficit irrigation conditions (T70). The water productivity of total recoverable sugar ( $WP_{TRS}$ ) ranged from 1.95 to 3.84  $\text{kg m}^{-3}$ , highest values were observed in varieties CTC6 and RB92579 (T100), as well as RB835054 e RB966928 (T70). For water productivity of total shoot dry biomass ( $WP_{TSDB}$ ) ranged from 6.98 to 11.94  $\text{kg m}^{-3}$  with better performance observed in varieties RB92579 and SP81-3250 (T100), as well as SP90-3414 and SP81-3250 (T70). The water productivity of total energy ( $WP_{TE}$ ) varied from 101.17 to 174.65  $\text{MJ m}^{-3}$  with highest values in varieties SP81-3250, CTC6, CTC17 and RB92579 (T100), as well as SP90-3414, SP81-3250 and CTC6 (T70).

Keywords: Water demand; Irrigation; Water deficit; Photoassimilates partitioning



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização da casa de vegetação no Departamento de Engenharia de Biosistemas ESALQ/USP (A) e vista interna da casa de vegetação (B), Piracicaba - SP, 2010/2011.....31
- Figura 2 - Croqui da área experimental (casa de vegetação), Piracicaba - SP, 2010/2011 .....35
- Figura 3 - Detalhe dos pares de caixas para cada variedade, distribuição das touceiras na caixa e área útil da faixa, Piracicaba - SP, 2010/2011 .....36



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Caracterização química dos solos utilizados: potencial de hidrogenação (pH), matéria orgânica (M.O), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T), porcentagem de saturação por bases (V), Piracicaba - SP, 2010/2011 .....32
- Tabela 2 - Caracterização físico-hídrica dos solos utilizados: umidade volumétrica na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ), capacidade total de água disponível (CAD), densidade aparente do solo (Ds), densidade das partículas do solo (Dp), porosidade total (PT), Piracicaba - SP, 2010/2011 .....33
- Tabela 3 - Valores de umidade de saturação ( $\theta_s$ ), umidade residual ( $\theta_r$ ), e dos parâmetros ( $\alpha$ , m e n) do modelo proposto por Van Genuchten (1980), para ambos os solos utilizados, Piracicaba - SP, 2010/2011.....37
- Tabela 4 - Fracionamento das doses de Nitrogênio (N) e potássio ( $K_2O$ ), em %, ao longo dos meses, Piracicaba - SP, 2010/2011 .....38
- Tabela 5 - Dados climáticos do período de condução dos experimentos, T<sub>min</sub> - temperatura mínima média mensal, T<sub>max</sub> - temperatura máxima média mensal, T<sub>med</sub> - temperatura média mensal, UR<sub>med</sub> - umidade relativa média mensal,  $\sum DPV$  - somatório do déficit de pressão de vapor,  $\sum R_g$  - somatório da radiação solar global e  $\sum E_{To}$  - somatório da evapotranspiração de referência, Piracicaba - SP, 2010/2011.....44
- Tabela 6 - Dados médios do consumo hídrico, razão entre os consumos hídricos (T70/T100), produtividade estimada de colmos por hectare (TCH), redução da produtividade de colmos (RAC) e razão da TCH (T70/T100) para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 .....47
- Tabela 7 - Dados médios do consumo hídrico, razão entre os consumos hídricos (T70/T100), produtividade estimada de colmos por hectare (TCH), redução da produtividade de colmos (RAC) e razão da TCH (T70/T100) para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011.....48
- Tabela 8 - Dados médios de pureza do caldo (Q), teor de fibra da cana (F), teor de sacarose aparente da cana (PC), teor de açúcares redutores da cana (ARC) e açúcar total recuperável (ATR) para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 .....53
- Tabela 9 - Dados médios de pureza do caldo (Q), teor de fibra da cana (F), teor de sacarose aparente da cana (PC), teor de açúcares redutores da cana (ARC) e açúcar total recuperável (ATR) para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011.....54



- Tabela 10 - Dados médios do rendimento bruto de açúcar (RBA), redução do RBA (RAA) e a razão (T70/T100) do RBA, para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 ..... 56
- Tabela 11 - Dados médios do rendimento bruto de açúcar (RBA), redução do RBA (RAA) e a razão (T70/T100) do RBA, para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 ..... 56
- Tabela 12 - Valores médios observados para a biomassa seca do palhiço ( $B_{PAL}$ ) e biomassa seca do bagaço ( $B_{BAG}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011..... 61
- Tabela 13 - Valores médios observados para a biomassa seca do palhiço ( $B_{PAL}$ ) e biomassa seca do bagaço ( $B_{BAG}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 ..... 62
- Tabela 14 - Valores médios observados para a energia na biomassa seca do palhiço ( $E_{PAL}$ ), biomassa seca do bagaço ( $E_{BAG}$ ), biomassa do rendimento bruto de açúcar ( $E_{RBA}$ ) e energia total da parte aérea ( $E_{TOT}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011..... 64
- Tabela 15 - Valores médios observados para a energia na biomassa seca do palhiço ( $E_{PAL}$ ), biomassa seca do bagaço ( $E_{BAG}$ ), biomassa do rendimento bruto de açúcar ( $E_{RBA}$ ) e energia total da parte aérea ( $E_{TOT}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 ..... 65
- Tabela 16 - Valores médios da produtividade da água em biomassa fresca de colmos ( $PA_{BFC}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 ..... 67
- Tabela 17 - Valores médios da produtividade da água em biomassa fresca de colmos ( $PA_{BFC}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011..... 67
- Tabela 18 - Valores médios da produtividade da água em biomassa de ATR ( $PA_{BATR}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 ..... 70
- Tabela 19 - Valores médios da produtividade da água em biomassa de ATR ( $PA_{BATR}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 ..... 71

Tabela 20 - Valores médios da produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea ( $PA_{BTPA}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 .....74

Tabela 21 - Valores médios da produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea ( $PA_{BTPA}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 .....74

Tabela 22 - Valores médios da produtividade da água em energia total da parte aérea ( $PA_{ET}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 .....77

Tabela 23 - Valores médios da produtividade da água em energia total da parte aérea ( $PA_{ET}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011 .....78



## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) destaca-se como uma das três maiores culturas exploradas (em área) pelo Brasil, representando assim, grande importância econômica, social e ambiental no país, que é atualmente o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e açúcar e o segundo maior produtor de álcool.

A área de cana-de-açúcar colhida destinada a indústria sucroalcooleira, ou em um contexto mais atual sucroenergética, está estimada em 8.033,6 mil hectares, representando aumento de 8,4% em relação à safra passada (2009/10). Em relação à área total, o Estado de São Paulo representa 54,23% (4.357,01 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,10% (649,94 mil hectares), Paraná com 7,25% (582,32 mil hectares), Goiás com 7,46% (599,31 mil hectares), Alagoas com 5,46% (438,57 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 4,93% (396,16 mil hectares) e Pernambuco com 4,32% (346,82 mil hectares). Houve aumento de área em todas as regiões: no Norte (Tocantins), o acréscimo foi de 13,20%, no Nordeste, a área manteve-se estável, com pequena elevação de 1,70%. Na região Centro-Oeste, o aumento foi de 27,90%, destacando-se como uma região de expansão do setor, no Sudeste foi de 6,10% e a região Sul observou-se incremento de 8,80% na área colhida. Com relação à produção, a previsão do total de cana-de-açúcar que será moída na safra 2010/11 é de 624.991 mil toneladas, com incremento de 3,4% em relação à safra 2009/10, destacando-se o incremento de matéria-prima nas regiões Norte (39,20%) e Centro-Oeste (24,20%) (CONAB, 2011).

A produção brasileira de açúcar na safra 2008/09 girou em torno de 31,05 milhões de toneladas, sendo 26,75 milhões produzidas na região Centro-Sul e outras 4,30 milhões de toneladas, produzidas nas regiões Norte e Nordeste. A produção de etanol, somando-se álcool anidro e hidratado, chegou aos 27,50 bilhões de litros, sendo 25,10 bilhões produzidos na região Centro-Sul e outros 2,41 bilhões de litros, produzidos nas regiões Norte e Nordeste (UNICA, 2011). Além da produção de açúcar e álcool, o setor sucroenergético ainda conta com alternativas promissoras na utilização da biomassa da cana-de-açúcar, como a co-geração de energia elétrica (bioeletricidade) e, numa perspectiva futura, a produção de etanol de segunda geração (etanol celulósico), ambos utilizando-se da palhada e o bagaço da cultura. Estima-se que somente a bioeletricidade sucroenergética tenha potencial para gerar excedentes de mais de 13 GW médios

anuais até a safra 2020/21, ou seja, quase três vezes a garantia física atribuída à usina Belo Monte, sendo a palha responsável por quase 50% desse potencial. (UNICA, 2011).

Esta expansão do setor demonstra a busca cada vez maior do mercado mundial, bem como do esforço governamental, por fontes de energia renovável, que aliadas a questões ambientais e de políticas de matriz energética limpa, colocam o setor sucroenergético numa perspectiva promissora. Por outro lado, as questões ambientais do processo produtivo da cana-de-açúcar e a ascensão do setor sucroenergético são questionadas por um possível aumento na área desmatada e pela ocupação de áreas destinadas a culturas para fins de alimentação. Deste modo, uma das preocupações do setor, é aumentar a eficiência no processo de produção da cana-de-açúcar, dentre as quais podemos destacar a utilização da tecnologia da irrigação, visando o aumento da produtividade e/ou proporcionando uma melhoria da eficiência do uso da água (produtividade da água) na conversão da evapotranspiração da cultura em biomassa (colmos e açúcar) e energia.

Dentre os fatores que causam redução na produtividade da cana-de-açúcar, podemos destacar a deficiência hídrica, também denominada de estresse hídrico ocasionado pela restrição da disponibilidade de água no solo, durante todo ou parte do período de produção. O ciclo da cultura da cana-de-açúcar é dividido em diferentes estádios fenológicos: brotação e emergência, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação dos colmos (GASCHO & SHIH, 1983; CÂMARA, 1993). Quando a deficiência ocorre nas fases críticas de formação da produção (perfilhamento e crescimento dos colmos) podem-se observar reduções expressivas no acúmulo de biomassa total, biomassa dos colmos e de sacarose. Segundo Inman-Bamber (2004), períodos de seca afetam negativamente o desenvolvimento do dossel, podendo diminuir a emissão foliar - causando redução na área foliar e no crescimento dos perfilhos - e aumentar a velocidade de senescência das folhas e dos perfilhos. Por outro lado, quando o estresse hídrico ocorre durante a fase de maturação, condiciona o aumento da concentração de sacarose nos colmos. Doorenbos & Kassam (1979), afirmam que a necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia em torno de 1500 a 2500 mm por ciclo, sendo o estágio de crescimento dos colmos responsável por demandar maior quantidade de água.

Tomando-se como base os recursos naturais água (volume) e terra (área), quando o primeiro é fator limitante, busca-se manejar a irrigação para que se tenha maior produtividade da água (eficiência do uso da água), desde que os outros custos do processo produtivo não

inviabilizem esta ação. Para o caso em que a terra é o recurso natural limitante, busca-se irrigar para que se obtenha rendimento máximo da cultura por unidade de área. Desta forma, justifica-se o conhecimento das respostas para as diferentes variedades de cana-de-açúcar, manejadas sob irrigação plena e sob deficiência hídrica, visto que estas possam apresentar características diferentes nos processos de trocas gasosas/energéticas, auxiliando assim a tomada de decisão no momento do plantio ou da reforma dos canaviais.

Em áreas tradicionalmente exploradas com cana-de-açúcar, a produção é basicamente fundamentada na agricultura de sequeiro ou apenas com irrigação de “salvação”, podendo ocorrer períodos de deficiência hídrica com reduções na produtividade. Com relação às áreas de expansão do setor sucroenergético, como nos Estados do MS, MT, GO, MG, BA, TO, MA e PI, onde possivelmente ocorram períodos em que o déficit hídrico torna-se mais acentuado, é de fundamental importância considerar a possibilidade da utilização da irrigação para obtenção de produtividades significativas, seja esta manejada para atender a demanda total ou parcial da cultura.

Fundamentando-se nestas hipóteses, o setor insere-se em situações que demandam materiais (variedades) mais tolerantes a deficiência hídrica e, também, que melhor respondam à irrigação. Assim, o objetivo deste estudo foi quantificar a produtividade de biomassa total da parte aérea, biomassa de colmos e de açúcar; assim como estimar a energia contida na parte aérea e suas frações, para 24 variedades de cana-de-açúcar manejadas sob irrigação plena (umidade do solo próxima a capacidade de campo) e sob irrigação com déficit durante a fase crítica da cultura, visando determinar a produtividade da água em biomassa e energia.



## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão Bibliográfica**

#### **2.1.1 A cultura da cana-de-açúcar**

##### **2.1.1.1 Aspectos gerais**

A cana-de-açúcar é uma planta pertencente à família Poaceae, gênero *Saccharum*. As principais características morfológicas deste gênero são: crescimento do caule em colmos, folhas que possuem lâminas de sílica nas suas bordas e bainhas abertas. O hábito de crescimento da cana-de-açúcar pode variar de ereto, semi-decumbente a decumbente, de acordo com a característica da variedade. Esta cultura apresenta sistema fotossintético C4, que segundo Taiz e Zeiger (2004), em maiores temperaturas (30 a 40 °C), possuem alto desempenho do metabolismo de fotossíntese. Vale destacar que este desempenho é afetado por outros fatores do clima, pelos parâmetros físico-químicos dos solos, manejo e práticas culturais e, de maneira fundamental, pela disponibilidade de água no solo.

A cultura da cana-de-açúcar pode ser considerada a principal fonte de matéria-prima para fabricação de açúcar e álcool (etanol). Os colmos, parte da planta de maior importância econômica, podem ser divididos basicamente nos seguintes constituintes de interesse agrônomo: fibra (10 a 12%), composta por celulose, hemicelulose e lignina, e o caldo (82 a 90%), que apresenta 75 a 82 % de água e 18 a 25% de sólidos solúveis (estádio de maturação), sendo este o constituinte de maior importância na indústria sucroalcooleira. Destes sólidos solúveis, 1 a 2% são não-açúcares (sais inorgânicos e orgânicos) e o restante açúcares, sendo 14 a 24% sacarose, 0,2 a 1,0% glicose e 0,0 a 0,5% frutose.

Outra importante característica da cultura e que vem despertando interesse econômico é a produção de biomassa gerada pela cultura. A biomassa de folhas, despontes e perfilhos senescentes (palhiço), juntamente com a biomassa do bagaço (resíduo da extração do caldo na indústria), apresentam um potencial energético significativo ao país, podendo ser utilizadas para geração de energia elétrica (bioeletricidade) e, num contexto de futuro próximo, na produção de etanol de segunda geração (etanol celulósico).



### 2.1.1.2 Variedades de cana-de-açúcar

Do gênero *Saccharum*, existem seis espécies que são utilizadas para a obtenção dos híbridos (variedades comerciais), atualmente cultivados, sendo elas: *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. officinarum*, *S. barberi*, *S. sinense* e *S. edule*. As variedades com maior representatividade em área cultivada, no Brasil, são as “RBs”, seguidas pelas variedades “SPs” e em menor escala “CTCs”, “IACs” e “POs”. As variedades “RBs”, atualmente são de domínio da RIDESA (Rede Interuniversitária Para Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro), antiga PLANALSUCAR (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar). Porém, as novas variedades comerciais ainda levam esta denominação (RB).

As variedades “SPs”, hoje pertencem ao CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), antiga COPERSUCAR, que atualmente atribui esta denominação (CTC) as novas variedades lançadas, sendo talvez, um dos motivos das “CTCs” ainda não possuírem grande representatividade em área plantada quando comparadas as “RBs” e “SPs”.

De acordo com o censo varietal realizado em 2008 pela RIDESA, nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e São Paulo, 57% da área total cultivada nestes estados são “RBs”. As variedades “SPs” ocupam em torno de 35% da área total cultivada. Com relação às variedades, individualmente, cabe destaque a RB867515 e SP81-3250, com 19,8 e 9,3%, respectivamente, da área total cultivada nos estados referidos anteriormente. Estas duas variedades também lideram os plantios (reforma e expansão), representando 22,2% (RB867515) e 15,5% (SP81-3250) das áreas plantadas em 2008. Porém, ainda de acordo com este censo, observam-se 12 variedades que representam, no mínimo, 2% da área total cultivada e de novos plantios. Isto demonstra a diversidade de variedades utilizadas, ainda mais quando se consideram a infinidade de outras existentes e plantadas em menor proporção.

Desta forma, partindo-se do pressuposto que existam respostas diferenciadas de variedades submetidas à deficiência hídrica, bem como à irrigação, nota-se a necessidade do conhecimento destas respostas, em termos de produtividade potencial, produtividade da água (eficiência do uso da água), tolerância a seca, dentre outras, como tentativa de melhorar o desempenho produtivo do setor, uma vez que a abrangência do cultivo da cana-de-açúcar se depara com situações diferenciadas em relação ao suprimento hídrico.

### 2.1.1.3 Consumo hídrico e produtividade da cana-de-açúcar

Scardua e Rosenfeld (1987) destacam que o consumo de água da cana-de-açúcar varia em função do ciclo da cultura (cana planta ou soca), do estágio de desenvolvimento da cultura (fase fenológica), das condições climáticas, da disponibilidade de água no solo e da variedade cultivada.

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a umidade adequada do solo durante todo o período de crescimento é importante para se obter rendimentos máximos, visto que o crescimento vegetativo é diretamente proporcional à água evapotranspirada. Carretero (1982) observou aumento de 20 t ha<sup>-1</sup> de colmos sob condições de irrigação por gotejamento, correspondendo a um acréscimo de 16% em relação à cana não irrigada, primeira soca, na região de Piracicaba, SP. Wiedenfeld (1995), submetendo a variedade CP 65-357 a três níveis de disponibilidade de água no solo (alto: 95%, médio: 85% e baixo: 65% do conteúdo de água do solo), encontrou diferenças significativas no rendimento de colmos (120; 89 e 70 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

Maule et al. (2001) observaram, para a variedade SP79-1011, nas condições do estado de São Paulo, produtividades médias de 149, 154 e 170 t ha<sup>-1</sup> de colmos, respectivamente, para precipitações totais de 1.478 mm, com 14 meses de cultivo; 1.695 mm, com 17 meses de cultivo e 1.829 mm, com 19 meses de cultivo. Isto demonstrando a influência do volume de precipitação e da época de colheita no incremento da produtividade. Azevedo (2002), trabalhando com a mesma variedade, nas condições dos Tabuleiros Costeiros da Paraíba, constatou produtividades de 52, 79, 93 e 92 t ha<sup>-1</sup> (doze meses de cultivo) para precipitações efetivas mais irrigações de 609, 761, 905 e 1043 mm, respectivamente.

Souza et al. (1999), utilizando sistema de irrigação por aspersão (auto-propelido), encontraram para as variedades RB72-454, RB76-418 e SP79-1011, máximas produtividades de colmos na ordem de 155,8, 126,9 e 141,9 t ha<sup>-1</sup> de colmos, com lâminas totais de 1568, 1424 e 1589 mm, respectivamente, em 13 meses de cultivo. As máximas produtividades de açúcar, estimadas para as mesmas variedades, foram 20,7, 17,1 e 19,3 t ha<sup>-1</sup>, para as lâminas de 1678, 1874 e 1602 mm, respectivamente. Gomes (1999) obteve, para a variedade RB72-454 em cana-planta e com uma lâmina de 1195 mm, uma produtividade média de colmos e de açúcar de 130 e 17 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### 2.1.1.4 Deficiência hídrica em cana-de-açúcar

É comum a ocorrência de deficiência hídrica na produção agrícola de sequeiro, estando dentro deste contexto à produção de cana-de-açúcar. Por apresentar um ciclo de cultivo relativamente longo, variando de 12 a 18 meses, esta cultura é comumente afetada por um período de estresse hídrico, sendo a redução de produtividade uma combinação do estágio de desenvolvimento (fase fenológica) em que ele ocorre, bem como da magnitude deste processo. Daí a importância, também, dos estudos das melhores épocas de plantio para cada região, numa tentativa de minimizar este efeito negativo na produção de cana-de-açúcar.

Sabe-se que o desenvolvimento do dossel é uma função do genótipo (SINGELS et al., 2005; ZHOU et al., 2003), condições ambientais, tais como radiação e temperatura (INMAN-BAMBER, 1994) e do manejo cultural, como espaçamento (SINGELS E SMIT, 2002), adubação, dentre outros. Porém, é evidenciado que o déficit hídrico é fator limitante ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

Segundo Kramer (1983), as plantas estão sujeitas a grande variedade de estresses ambientais, incluindo temperaturas inadequadas, condições físico-químicas de solo desfavoráveis e várias doenças e pragas; contudo, pode-se dizer que o déficit hídrico reduz o crescimento e a produtividade vegetal, mais que todos os outros estresses combinados, pois pode ocorrer em qualquer local, mesmo nas regiões consideradas úmidas. Taiz e Zeiger (2004) afirmam, também, que o déficit hídrico não é limitado apenas às regiões áridas e semi-áridas do mundo, uma vez que, mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento.

Neste contexto, Inman-Bamber (2004) afirma que períodos de seca na cultura da cana-de-açúcar afetam negativamente o desenvolvimento do dossel, podendo diminuir a emissão foliar e aumentar a velocidade de senescência das folhas e dos perfilhos. Outro importante aspecto observado e descrito por Larcher (1995), é que um período de déficit hídrico, por mais curto que seja, pode dar início a um processo de síntese de ácido abscísico e etileno, provocando a senescência prematura da planta como forma de diminuir sua evapotranspiração. Isto poderia levar a uma redução da interceptação de radiação, uso da água por transpiração, produção de fotoassimilados e um aumento dos fluxos de energia como calor sensível e armazenamento de calor no solo. Por outro lado, quando o estresse hídrico é aplicado durante a fase de maturação,

condiciona o aumento da concentração de sacarose nos colmos (INMAN-BAMBER, 2004), tendo, neste caso, efeito benéfico.

De acordo com Robertson et al. (1999), sob condições de deficiência hídrica durante o período de crescimento da cultura, o acúmulo de biomassa total, biomassa dos colmos e de sacarose da cana-de-açúcar são expressivamente afetados. Segundo estes autores, o déficit hídrico imposto durante a fase de perfilhamento, quando o índice de área foliar (IAF) ainda era pequeno, promoveu grandes impactos na área foliar, perfilhamento e biomassa acumulada, porém, teve pouco efeito sobre o rendimento final da cultura, quando comparado ao manejo sem restrição hídrica durante todo o ciclo. Porém, o mesmo resultado não foi observado quando o déficit hídrico foi imposto na fase de início da alongação dos colmos (formação da produção), momento em que o dossel da cultura já estava bem estabelecido ( $IAF > 2$ ). Estas informações subentendem que a fase crítica da cultura, ou seja, onde os danos no rendimento são mais evidenciados, coincide com este estágio de desenvolvimento.

Desta forma, estudos de como o desenvolvimento do dossel e a partição de matéria seca são afetados pelo déficit hídrico podem servir de ferramentas para orientar o momento de melhor aproveitamento do recurso natural “água” (fase crítica da cultura), quando se dispõe de irrigação, evitando-se assim reduções bruscas no rendimento da cultura e proporcionando melhorias na produtividade da água (eficiência do uso da água). Ainda neste contexto, um bom entendimento de como a cultura responde ao déficit hídrico, bem como das diferenças intervarietais, são pré-requisitos para a escolha das melhores variedades, bem como das práticas de manejo que visem otimizar a exploração dos recursos naturais.

#### **2.1.1.5 Produtividade da água em cana-de-açúcar**

Muitos pesquisadores têm proposto indicadores para avaliar a utilização da água na produção de culturas agrícolas, bem como, avaliar o desempenho de sistemas agrícolas irrigados (BOS et al., 1994; PERRY, 1996).

Segundo Pereira et al. (2002), o termo produtividade da água (PA) é definido como a razão entre a produção de biomassa e a quantidade de água utilizada. Para o cálculo, pode-se considerar o fator “quantidade de água” tanto em termos da evapotranspiração da cultura (ETc) como pelo total de água que entra no sistema produtivo, incluindo-se, neste caso, as perdas por

escoamento superficial e percolação profunda (precipitação pluvial), bem como devido as perdas inerentes a aplicação via sistemas de irrigação.

Na literatura, muitos autores utilizam o termo eficiência do uso da água (EUA) como sinônimo da produtividade da água (PA). Contudo, ocorrem algumas confusões com o conceito de EUA, pois o termo é muitas vezes utilizado para analisar a desempenho da planta (quando se considera a razão entre a assimilação e as taxas de transpiração), bem como, em alguns casos, utilizado como sinônimo de eficiência da aplicação de água (EA, %) ou eficiência dos sistemas de irrigação (PEREIRA et al., 2002). Desta forma, estes autores sugerem a utilização do termo produtividade da água (PA) para análise do desempenho da cultura.

Ayars et al. (1999) citam a utilidade da PA na melhoria do desempenho da água, bem como na sua gestão. Howell et al. (1995), destacam a importância do conhecimento do comportamento da PA na escolha do manejo da irrigação, incluindo-se a irrigação sob déficit, assim como Zang e Oweis (1999), que citam a importância deste parâmetro para identificar a estratégias de utilização deste recurso (água) na irrigação suplementar.

Desta forma, a produtividade da água (PA) é um ótimo indicador para a análise e tomada de decisão, pois permite avaliar a variação da razão entre a produção e a quantidade de água utilizada, sugerindo valores que maximizem sua utilização. Dinar (1993) menciona que existem meios para se elevar os valores da PA destacando-se, entre esses, o manejo adequado de irrigação.

Segundo Inman-Bamber et al. (1999), a cana-de-açúcar responde bem às condições irrigadas, podendo apresentar altos valores de PA, atingindo até  $27,5 \text{ kg m}^{-3}$ . De acordo com este autor, com um incremento de água pela irrigação, em torno de 9% do total recebido pelas plantas, a cultura apresentou expressivo aumento no desenvolvimento do dossel, resultando em um incremento considerável da biomassa (em torno de 31%), juntamente com a produtividade de colmos (41%). Este resultado pode ser atribuído à melhoria na partição de biomassa para os colmos, proporcionada pela irrigação (INMAM-BAMBER E SMITH, 2005). Contudo, para a cana-de-açúcar, a magnitude das variações da PA depende, também, da variedade, ciclo (cana-planta ou cana-soca), condições ambientais e práticas de manejo adotadas (SMIT E SINGELS, 2006).

São poucas as referências na literatura sobre PA para a cultura da cana-de-açúcar. Doorenbos e Kassam (1979) afirmam que, para o cultivo da cana-de-açúcar com irrigação, nos trópicos e subtropicais secos, a produtividade da água (PA), em solos com 80% de água

disponível, ou seja, com uma fração de esgotamento de 20%, varia de 5 a 8 kg m<sup>-3</sup> e de 0,6 a 1,0 kg m<sup>-3</sup>, para colmos frescos e sacarose, respectivamente. Kingston (1994), em uma revisão sobre PA em cana-de-açúcar, verificou que este parâmetro variou de 8,37 a 20,94 kg m<sup>-3</sup> (colmos frescos). Robertson e Muchow (1994) relatam valores de PA variando de 4,8 a 12,1 kg m<sup>-3</sup> (colmos frescos) em experimentos realizados no sul da África, Havaí e Austrália. Em outro estudo, Robertson et al. (1997) verificaram variação da PA de 5,3 a 15,4 kg m<sup>-3</sup> (colmos frescos).

Segundo Inman-Bamber & Smith (2005), o manejo adequado e estratégico da água ao longo de todo o ciclo da cana-de-açúcar tem importância fundamental, podendo a PA ser utilizada como ferramenta para ajustar o planejamento e a tomada de decisão da irrigação e, conseqüentemente, aumentar a produtividade de colmos, açúcar e de álcool, bem como a lucratividade do sistema de produção.

#### **2.1.1.6 Biomassa da cana-de-açúcar e co-geração de energia**

Uma particularidade da indústria sucroenergética em relação aos demais setores produtivos brasileiros, está no auto-atendimento, quase que integral, das suas demandas energéticas utilizadas no processamento da cana-de-açúcar. Este suprimento fundamenta-se, basicamente, na co-geração de energia (térmica, mecânica e elétrica) através da biomassa residual (bagaço), decorrente da extração do caldo utilizado na produção do açúcar e do etanol.

Com o avanço da colheita mecanizada da cana “crua”, visto as discussões dos impactos ambientais gerados pela queima, o setor depara-se com o aspecto da utilização da biomassa do palhiço (folhas, bainhas e ponteiros) para a geração de excedentes, em termos de eletricidade, e sua comercialização junto às concessionárias, responsáveis pela distribuição. Desta forma, a energia elétrica gerada a partir da biomassa da cana-de-açúcar surge como uma importante fonte para complementação da demanda energética do país, predominantemente hidrelétrica, bem como, alternativa para o incremento de renda do setor sucroenergético.

A descentralização da produção de energia através de pequenas unidades geradoras, tendo como fonte de energia primária a biomassa, torna-se uma alternativa para a redução dos riscos de escassez energética, podendo também, reduzir os impactos ambientais causados pela implantação de novas hidroelétricas devido ao barramento de cursos d’água.

Segundo Tolmasquim (2004), a sazonalidade da safra do setor sucroenergético e o comportamento da vazão de algumas bacias hidrográficas brasileiras apresentam uma excelente complementaridade, o que contribui para o aumento da confiabilidade do sistema e minimiza os efeitos das variações intrínsecas do recurso da biomassa.

De acordo com Correa Neto (2004), a aplicação de métodos de colheita da cana-de-açúcar sem queimar pode elevar significativamente o volume de biomassa disponível, porém a recuperação desta matéria depende da possibilidade de mecanização da lavoura.

Tolmasquim (2004) cita a importância da utilização da biomassa do palhiço, representando aproximadamente 42% da quantidade de bagaço hoje disponível, já se considerando que apenas 60% dessa matéria vegetal podem ser retirados do campo, devido também, a sua importância para a conservação dos solos.

Segundo dados da COPERSUCAR, citados por Tolmasquim (2004), em estudo com três variedades de cana-de-açúcar (SP79-1011, SP80-1842 e RB72454) a biomassa seca total do palhiço representou 15,49, 12,58 e 15,20 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na média de cinco cortes. Considerando-se o poder calorífico deste material em torno de 15 MJ kg<sup>-1</sup> (base seca) (MARIANI FILHO, 2006), a disponibilidade energética total da biomassa seca do palhiço representa entre 188 a 232 mil MJ ha<sup>-1</sup>. Neste contexto, é de fundamental importância a determinação da disponibilidade de biomassa, tanto na forma de bagaço quanto de palhiço, para o conhecimento do potencial energético disponível, visando subsidiar estudos de dimensionamento de plantas de co-geração da indústria sucroenergética, bem como da viabilidade econômica dos processos que envolvem o recolhimento e processamento deste material.

## **2.2 Material e Métodos**

### **2.2.1 Localização e caracterização da área experimental**

O estudo foi realizado em ambiente protegido (casa de vegetação) localizado na área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB), Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ (ESALQ/USP), Piracicaba - SP, durante o período de março de 2009 a fevereiro de 2010. As coordenadas geográficas do local são: 22° 43’ 30” S de latitude, 47° 38’ 00” W de longitude e 546 m de altitude (Figura 1).

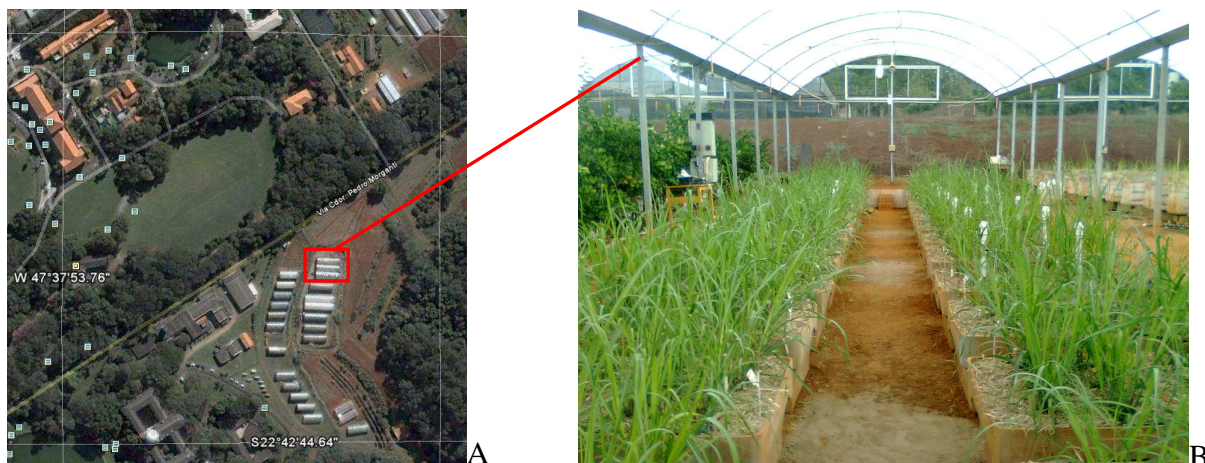


Figura 1 - Localização da casa de vegetação no Departamento de Engenharia de Biosistemas ESALQ/USP (A) e vista interna da casa de vegetação (B), Piracicaba - SP, 2010/2011

Segundo a classificação de Koppen-Geiger (1928), o clima da região é do tipo Cwa, ou seja, subtropical quente, caracterizado por chuvas no verão e seca no inverno com três meses mais secos (junho, julho e agosto) e com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e do mês mais frio inferior a 18 °C. Porém, ressalva-se a condição de microclima ocasionada pelo ambiente protegido.

A casa de vegetação apresentava dimensões de 7 m de largura por 22 m de comprimento. A cobertura utilizada foi filme plástico de polietileno transparente com espessura média de 100 µm em formato de arco, altura de 4,0 m, na parte central, e 2,5 m, na lateral. As laterais eram constituídas por rodapé de 0,20 m, em concreto armado, e fechadas com tela tipo sombrite preto, com aproximadamente 50% de interceptação de radiação global. A estrutura era provida de energia elétrica e de um tanque reservatório com capacidade para 1000 litros, abastecido continuamente por água potável, oriunda do próprio sistema de abastecimento da ESALQ e servindo de suprimento para realização das irrigações.

Foram distribuídas quatro fileiras de caixas de fibrocimento, com volume de 500 litros, e dimensões de 1,08 m de comprimento por 0,93 m de largura ( $\sim 1,0 \text{ m}^2$ ) e 0,65 m de profundidade. As caixas foram preenchidas com uma camada de 0,05 m de pedra brita nº 2, uma manta geotêxtil “bidim” e posteriormente uma camada de solo de 0,60 m, devidamente homogeneizado. Foi utilizado também, um tubo de PVC de 25 mm de diâmetro, perfurado e revestido com a mesma manta geotêxtil, enterrado verticalmente no solo, servindo como poço de observação, caso ocorresse drenagem. Das quatro fileiras de caixas, duas foram utilizadas para o **Experimento 1** -



Dez (10) variedades em solo de textura argilosa, classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico, denominado “Série Luiz de Queiroz”; e outras duas para o **Experimento 2** - Quatorze (14) variedades, em solo de textura franco-arenosa, classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, denominado “Série sertãozinho” (Figura 1B).

### 2.2.2 Caracterização química e físico-hídrica dos solos

Para análise química foram coletadas amostras deformadas, para ambos os tipos de solo, nas camadas de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m, cujas características estão apresentadas na Tabela 1. Com base nos resultados, procedeu-se a interpretação e recomendação de adubação, de acordo com Raij et al. (1997), para uma produtividade mínima esperada de 150 t ha<sup>-1</sup>.

Tabela 1 - Caracterização química dos solos utilizados: potencial de hidrogenação (pH), matéria orgânica (M.O), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T), porcentagem de saturação por bases (V), Piracicaba - SP, 2010/2011

Prof. (m)	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )	S (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
					----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----						
Nitossolo Vermelho Eutrófico											
0,0 - 0,2	5,7	10	58	45	0,8	29	13	25	42,8	67,8	63
0,2 - 0,4	4,3	11	26	64	0,9	16	3	34	19,9	53,9	37
Latossolo Vermelho Amarelo											
0,0 - 0,2	5,5	10	46	88	5,2	39	17	31	61,2	92,2	66
0,2 - 0,4	4,9	8	13	89	9,1	37	12	28	58,1	86,1	67

Para caracterização físico-hídrica, foram coletadas amostras indeformadas em três camadas distintas: 0,0 a 0,2 m, 0,2 a 0,4 m e 0,4 a 0,6 m (Tabela 2). Foram realizadas as curvas de retenção de água no solo (CRA), utilizando-se de mesa de tensão (1, 2, 4 e 6 kPa) e extratores de “Richards” com placas porosas (10, 30, 50, 100, 500, 1000 e 1500 kPa). Posteriormente, realizaram-se as determinações de densidade do solo (Ds) e densidade das partículas do solo (Dp). Para determinação da porosidade total (PT), considerou-se o volume correspondente a umidade de saturação do solo.

Tabela 2 - Caracterização físico-hídrica dos solos utilizados: umidade volumétrica na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}$ ), capacidade total de água disponível (CAD), densidade aparente do solo ( $D_s$ ), densidade das partículas do solo ( $D_p$ ), porosidade total (PT), Piracicaba - SP, 2010/2011

Camada (m)	$\theta_{cc}$ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	$\theta_{pmp}$ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	CAD (mm)	$D_s$ $\text{g cm}^{-3}$	$D_p$ $\text{g cm}^{-3}$	PT (%)	Frações granulométricas		
							Areia	Silte	Argila
%									
Nitossolo Vermelho Eutrófico									
0,0 – 0,2	0,411	0,262	29,851	1,28	2,70	52,6	31,3	14,8	53,9
0,2 – 0,4	0,419	0,261	31,546	1,27	2,70	53,0	31,0	16,1	52,9
0,4 – 0,6	0,446	0,285	32,274	1,31	2,71	51,7	30,1	17,3	52,6
Latosolo Vermelho Amarelo									
0,0 – 0,2	0,227	0,106	24,220	1,53	2,65	42,3	75,1	7,8	17,1
0,2 – 0,4	0,226	0,098	25,616	1,50	2,65	43,4	74,5	8,0	17,5
0,4 – 0,6	0,241	0,132	21,760	1,69	2,64	36,0	74,4	8,6	17,0

$\theta_{cc}$  - umidade correspondente ao potencial matricial -4,85 kPa;  $\theta_{pmp}$  - umidade correspondente ao potencial matricial -1500 kPa

### 2.2.3 Monitoramento climático

Foram monitorados os seguintes elementos climáticos no interior da casa de vegetação: radiação solar global -  $R_g$ , em  $\text{MJ m}^{-2}$ , através de um piranômetro (LP02-L12 - Campbell Sci.), temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%), através de sensor Vaissala (HMP45C-L12 - Campbell Sci.). Ambos os sensores foram instalados no centro da casa de vegetação e acima do dossel da cultura. Os dados foram armazenados em sistema de aquisição de dados (datalogger) com médias em intervalos de 15 minutos. A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, considerando-se a velocidade média dos ventos de  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  (ALLEN, et al. (1998).

### 2.2.4 Tratamentos e delineamento experimental

Foram instalados dois experimentos distintos. As variedades avaliadas no **Experimento 1** (solo argiloso) foram RB835054, RB855453, RB855536, RB925211, RB867515, SP89-1115, SP81-3250, CTC14, CTC8 e CTC6. No **Experimento 2** (solo franco-arenoso) foram avaliadas as variedades RB925345, RB855156, RB966928, RB72454, RB92579, IACSP95-5000, Caiana, SP83-2847, SP90-3414, SP79-1011, CTC17, CTC15, CTC9 e CTC2 (Figura 2).

Para ambos os experimentos, as fontes de variação (tratamentos) foram variedades de cana-de-açúcar (VAR), citadas anteriormente, e manejos da irrigação, 2 níveis, sendo T100 - irrigação plena com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), mantendo-se a umidade do solo próxima a capacidade de campo, e T70 - irrigação com 70% da lâmina de reposição de T100. Os manejos da irrigação (T100 e T70) foram dispostos em faixas e as variedades distribuídas dentro das faixas, com seis repetições (touceiras). Devido a algumas questões técnicas, estas não foram aleatorizadas. Adotou-se esta metodologia, devido às diferenças nas alturas dos dosséis (porte) em função da variedade cultivada, evitando-se assim, o sombreamento das parcelas (repetições) de uma variedade com crescimento acelerado sobre as parcelas ocupadas com variedades de característica oposta. Isto possibilitou, também, a redução operacional do manejo da irrigação (T100), manejando-se o conjunto de parcelas (repetições) da mesma variedade, repondo-se água em função da demanda potencial de cada variedade, independentemente (Figura 2). As touceiras foram padronizadas através de mudas provenientes de uma gema (Figura 3).

A diferenciação dos manejos de irrigação adotados (T100 e T70) iniciou-se aos 101 dias após o corte (DAC) da cana-planta, correspondendo ao final do perfilhamento intenso e início da fase de crescimento dos colmos, determinado como o período crítico da cultura ao déficit hídrico na formação da produção. A diferenciação durou até os 310 DAC, sendo nesta data realizada uma irrigação plena em todas as parcelas (última irrigação), com a finalidade de proporcionar condições iguais à maturação dos colmos, que foram colhidos aos 325 DAC. Antes do início da aplicação dos tratamentos, ambas as faixas (T100 e T70) foram mantidas em condições iguais, ou seja, manejadas de acordo com T100.

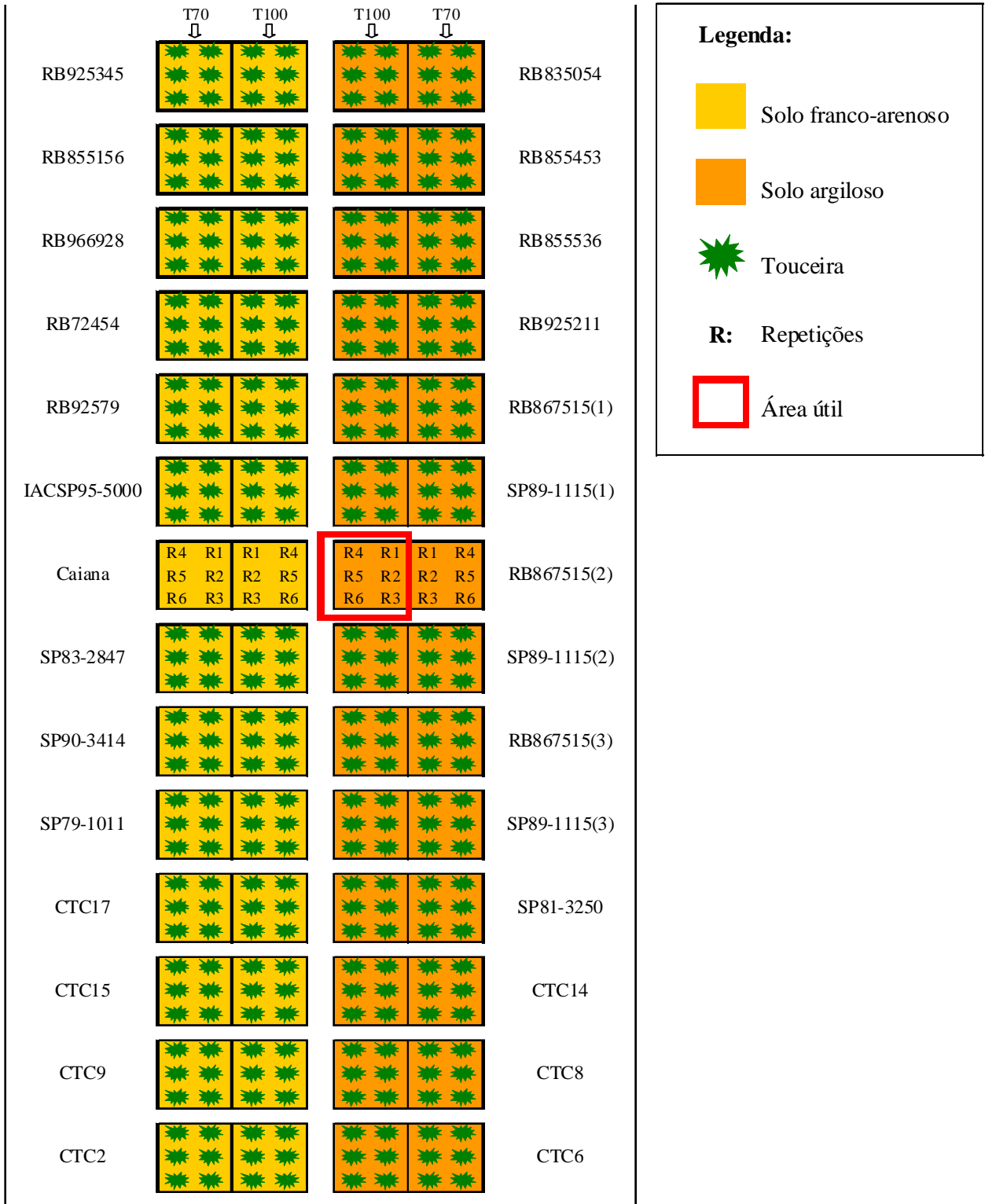


Figura 2 - Croqui da área experimental (casa de vegetação), Piracicaba - SP, 2010/2011

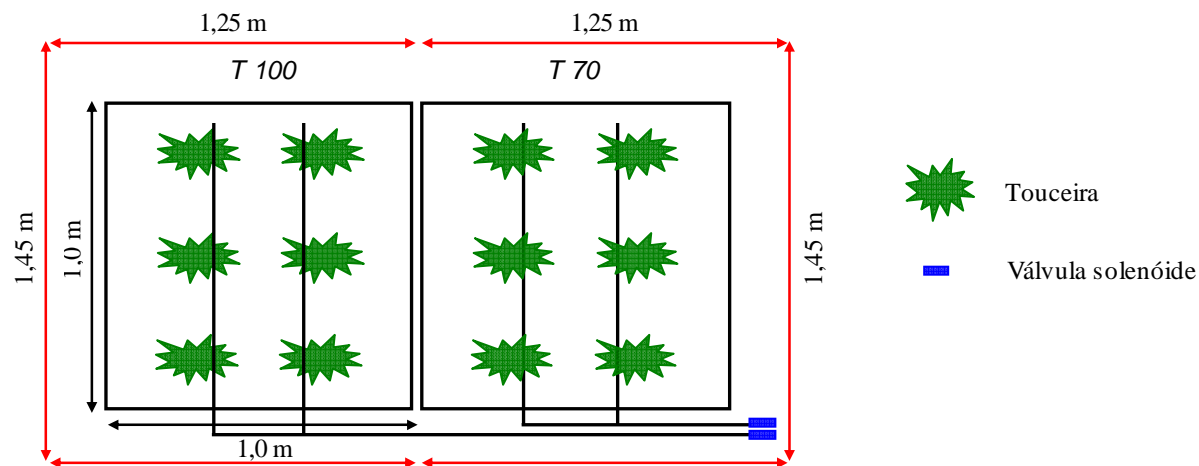


Figura 3 - Detalhe dos pares de caixas para cada variedade, distribuição das touceiras na caixa e área útil da faixa, Piracicaba - SP, 2010/2011

### 2.2.5 Manejo da irrigação e fertirrigação

O manejo da irrigação foi realizado por meio do monitoramento da tensão da água no solo, utilizando-se tensiômetros, instalados em cada faixa do T100 e a três profundidades: 0,1 m (representando a camada de 0,0 a 0,2 m), 0,3 m (representando a camada de 0,2 a 0,4 m) e 0,5 m (representando a camada de 0,4 a 0,6 m). As leituras dos tensiômetros foram realizadas com tensímetro digital de punção, com frequência de três dias, sempre no final do dia e antes das irrigações. Os valores das leituras de tensão da água no solo foram convertidos em potencial matricial da água no solo ( $\psi_m$ ), de acordo com a Equação 1.

$$\psi_m = Lt - hc \quad (1)$$

em que:

$\psi_m$  - potencial matricial da água no solo (kPa);

Lt - leitura do tensiômetro ou tensão da água no solo (kPa);

hc - pressão equivalente à altura da coluna d'água no tensiômetro (kPa);

A estimativa da umidade atual ( $\theta_a$ ), em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , foi realizada através do modelo proposto por Van Genuchten (1980) (Equação 2), que relaciona os valores de  $\psi_m$  com as respectivas  $\theta_a$ . Os parâmetros de ajuste do modelo (Tabela 3) foram determinados através do software Soil Water Retention Curve - SWRC (DOURADO NETO et al., 2000), utilizando-se os

pares de dados obtidos na determinação da CRA. As lâminas de irrigação, para cada variedade, foram calculadas para se elevar a umidade do solo à capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) no tratamento T100, correspondente ao potencial matricial da água no solo de - 4,85 kPa (adotado para ambos os solos), permitindo-se assim, a realização do balanço de água no solo para cada variedade. No tratamento T70 aplicou-se 70% do volume de T100, da variedade correspondente.

$$\theta_a = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha|\Psi_m|)^n]^m} \quad (2)$$

em que:

$\theta_a$  - umidade atual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

$\theta_r$  - umidade residual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

$\theta_s$  - umidade de saturação do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

$m$  e  $n$  - parâmetros de regressão da equação (adimensionais).

$\alpha$  - parâmetro com dimensão igual ao inverso do  $\psi_m$  ( $\text{kPa}^{-1}$ ).

$\psi_m$  - potencial matricial da água no solo (kPa).

Tabela 3 - Valores de umidade de saturação ( $\theta_s$ ), umidade residual ( $\theta_r$ ), e dos parâmetros ( $\alpha$ ,  $m$  e  $n$ ) do modelo proposto por Van Genuchten (1980), para ambos os solos utilizados, Piracicaba - SP, 2010/2011

Camada (m)	$\theta_s$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\theta_r$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\alpha$ ( $\text{kPa}^{-1}$ )	$m$	$n$
Nitossolo Vermelho Eutrófico					
0,0 - 0,2	0,5290	0,2460	0,4144	0,5187	0,8650
0,2 - 0,4	0,5640	0,2460	0,2187	0,8555	0,6068
0,4 - 0,6	0,5610	0,2610	0,2799	0,5997	0,6985
Latosolo Vermelho Amarelo					
0,0 - 0,2	0,4210	0,0980	1,3464	0,1799	2,7175
0,2 - 0,4	0,4120	0,0850	1,5708	0,1648	2,5028
0,4 - 0,6	0,3740	0,1220	1,1291	0,2749	1,5629

As irrigações foram realizadas através de um sistema de irrigação localizada, composto por duas linhas de tubos gotejadores (in-line), auto-compensantes e com vazão nominal de  $2 \text{ L h}^{-1}$ . As linhas foram dispostas na superfície do solo e possuíam cinco gotejadores espaçados em 0,2 m, totalizando, desta forma, dez gotejadores e uma vazão nominal de  $20 \text{ L h}^{-1}$  em cada uma das caixas. Cada caixa foi controlada individualmente através de válvulas solenóides (Figura 2).

As adubações foram realizadas via água de irrigação (fertirrigação). As doses de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  aplicadas corresponderam a 140, 80 e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, para ambos os tipos de

solo, sendo que a dose total recomendada para o N e o K<sub>2</sub>O foi dividida em aplicações mensais, de acordo com a Tabela 4. O P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi aplicado em uma única fertirrigação, na primeira semana do ciclo. As fontes utilizadas para fornecimento dos nutrientes foram: uréia (45% N) e nitrato de amônio (31% N), nas proporções de 1:1, superfosfato simples (18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60 % K<sub>2</sub>O). Os adubos foram dissolvidos diretamente no tanque de irrigação, a uma determinada concentração, que relacionada ao volume de água aplicada na data, proporcionaria a fração da dose recomendada (Tabela 4).

Tabela 4 - Fracionamento da doses de Nitrogênio (N) e potássio (K<sub>2</sub>O), em %, ao longo dos meses, Piracicaba - SP, 2010/2011

Nutrientes	Cana 1ª Soca											
	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	20	20	20	20	10	10						
K <sub>2</sub> O	10	10	10	10	15	15	15	15				

Adaptado de ANDRADE JÚNIOR et al., 2009

### 2.2.6 Cultivo e tratos culturais

Aos 60 dias após o início da brotação, os solos foram cobertos com uma camada de palhico de cana-de-açúcar, numa proporção de 30 t ha<sup>-1</sup> (correspondendo a 3 kg m<sup>-2</sup>), com o objetivo de simular uma condição de campo com colheita mecanizada e sem queima, reduzir as perdas por evaporação direta da água no solo e ainda favorecer o controle de plantas daninhas. Os tratos culturais consistiram basicamente do monitoramento do estado fitossanitário do experimento como um todo. Foram realizadas aplicações de inseticidas, com ingredientes ativos pertencentes aos grupos químicos dos piretróides e neonicotinóides, bem como uma aplicação preventiva de fungicida, cujo ingrediente ativo pertencia ao grupo químico dos triazóis.

### 2.2.7 Características avaliadas

Para cada variedade (VAR) e para cada tipo de manejo da irrigação (T100 e T70), foram avaliadas as seguintes características:

### 2.2.7.1 Biomassa fresca de colmos (BFC)

Foram realizadas, no ato da colheita e com balança digital semi-analítica, pesagens de matéria fresca de colmos das repetições (kg). As produtividades de colmos por hectare - TCH (t ha<sup>-1</sup>) foram extrapoladas considerando-se a área ocupada pelo dossel (1,8 m<sup>2</sup>) e a área de solo da caixa (1,0 m<sup>2</sup>) (Figura 3). Desta maneira, a TCH foi apresentada em um intervalo de produtividade. Adotou-se esta metodologia devido às dificuldades e incertezas nas extrapolações de cultivos em ambiente protegido para os padrões geralmente adotados no campo.

### 2.2.7.2 Análise dos parâmetros tecnológicos dos colmos

Para determinação destes parâmetros, utilizou-se da biomassa fresca de colmos e da metodologia preconizada por CONSECANA (2006). Após a trituração (forrageira) e homogeneização (betoneira) dos colmos, foi pesado 0,5 kg de cada amostra, e posteriormente submetidas a uma pressão de 250 kgf cm<sup>-2</sup>, durante um minuto, através de uma prensa hidráulica, resultando em duas frações: caldo (CA) e bagaço úmido ou bolo úmido (BU). Com uma amostra do volume do CA extraído, realizaram-se medidas de Brix do caldo - B (°Brix), que representa o teor de sólidos solúveis por cento, em peso de caldo, utilizando-se um refratômetro portátil digital com correção automática de temperatura (20 °C). Outra amostra de CA foi utilizada para o processo de clarificação, através de sub-acetato de chumbo, onde foram realizadas as leituras sacarimétricas - LPb (°Z). Para isto, utilizou-se em sacarímetro digital, onde posteriormente, estas leituras (LPb) foram convertidas em teor de sacarose aparente por cento, em peso de caldo (Pol do caldo - S). Com o BU determinou-se o peso do bolo úmido (PBU) e, após secagem em estufa de circulação forçada de ar (65 °C), por um período de 48 horas, determinou-se o peso do bolo seco (PBS).

De posse destes valores, foram realizados os cálculos de pureza aparente do caldo - Q (%) (Equação 3) e do teor de açúcares redutores do caldo - AR (%) (Equação 4).

$$Q = \left( \frac{S}{B} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$AR = 3,641 - (0,0343 \times Q) \quad (4)$$



em que:

Q - pureza do caldo (%);

S - teor de sacarose aparente (%), em peso de caldo (Pol do caldo);

B - teor de sólidos solúveis (%), em peso de caldo (Brix do caldo);

AR - teor de açúcares redutores (%), em peso de caldo (AR do caldo);

Em seguida, foram calculados os teores de fibra - F (%) (Equação 5), e posteriormente, a Pol de cana - PC (Equação 6) e os açúcares redutores da cana - ARC (Equação 7).

$$F = \frac{(100 \times PBS) - (PBU \times B)}{5 \times (100 - B)} \quad (5)$$

em que:

F - fibra da cana (%);

PBS - peso do bolo seco (g);

PBU - peso do bolo úmido (g);

$$PC = S \times (1 - 0,01 \times F) \times (1,0313 - 0,00575 \times F) \quad (6)$$

$$ARC = AR \times (1 - 0,01 \times F) \times (1,0313 - 0,00575 \times F) \quad (7)$$

em que:

PC - teor de sacarose aparente (%), em peso de cana (Pol de cana);

ARC - teor de açúcares redutores (%), em peso de cana (AR da cana);

Por fim, foram calculadas as quantidades de açúcar total recuperável - ATR (kg t<sup>-1</sup>) (Equação 8), sendo este adotado como medida de pagamento da cana-de-açúcar, considerando-se perdas industriais. Maiores detalhes destes procedimentos podem ser encontrados em CONSECANA, 2006.

$$ATR = (10 \times PC \times 1,05263 \times 0,905) + (10 \times ARC \times 0,905) \quad (8)$$

em que:

ATR - açúcar total recuperável (kg t<sup>-1</sup>);

1,05263 - coeficiente estequiométrico de conversão da sacarose em açúcares redutores;

0,905 - coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 9,5 %;

### 2.2.7.3 Rendimento bruto de açúcar (RBA)

Representou a produção de açúcar por área ( $t\ ha^{-1}$ ), levando-se em consideração a TCH e o ATR (Equação 9).

$$RBA = \frac{TCH \times ATR}{1000} \quad (9)$$

em que:

RBA - rendimento bruto de açúcar ( $t\ ha^{-1}$ );

TCH - toneladas de colmos por hectare ( $t\ ha^{-1}$ );

ATR - açúcar total recuperável ( $kg\ t^{-1}$ );

### 2.2.7.4 Biomassa seca da parte aérea (Palhiço e Bagaço)

Determinou-se a biomassa seca de folhas, biomassa seca de bainhas, biomassa seca dos despontes e biomassa seca dos perfilhos senescentes, todos componentes do palhiço. Estes componentes da parte aérea foram submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de  $65\ ^\circ C$  e durante 48 horas. A biomassa seca do palhiço ( $B_{PAL}$ ), em  $t\ ha^{-1}$ , foi extrapolada utilizando-se os mesmos critérios da TCH, abordados anteriormente (item 2.2.7.1.). O cálculo da biomassa seca do bagaço ( $B_{BAG}$ ) foi realizado de acordo com a Equação 10.

$$B_{BAG} = \frac{TCH \times F}{100} \quad (10)$$

em que:

$B_{BAG}$  - biomassa do bagaço ( $t\ ha^{-1}$ );

TCH - toneladas de colmos por hectare ( $t\ ha^{-1}$ );

F - teor de fibra (%);

### 2.2.7.5 Energia da biomassa da parte aérea

Foram estimados os valores de energia do palhiço ( $E_{PAL}$ ), energia do bagaço ( $E_{BAG}$ ), energia do RBA ( $E_{RBA}$ ) e energia total ( $E_{TOT}$ ), todos em  $MJ\ m^{-2}$ . Para isto, consideraram-se as seguintes relações de poder calorífico:  $1\ kg$  de biomassa seca de palhiço =  $15,00\ MJ$  (MARIANI

FILHO, 2006); 1 kg de bagaço seco = 18,22 MJ (SILVA E MORAIS, 2008); e 1 kg de ATR = 15,93 MJ (LEHNINGER, 1976).

### 2.2.7.6 Produtividade da água (PA)

Consideraram-se as razões entre a biomassa fresca de colmos (BFC), ou a biomassa de açúcar total recuperável - ATR (BATR), ou a biomassa seca total da parte aérea (BTPA), ou a energia total da parte aérea ( $E_{TOT}$ ) com o volume de água aplicado (Equação 11). Como o volume de água aplicado foi para toda a caixa (onde compreendiam as seis repetições da variedade correspondente), o volume de água estimado, para cada repetição, foi ponderado em função da biomassa seca de folhas (BSF), órgão que refletiu a evapotranspiração da cultura na repetição em questão. As produtividades da água foram denominadas de  $PA_{BFC}$ ,  $PA_{ATR}$ ,  $PA_{BTPA}$  e  $PA_{ET}$ , para biomassa fresca de colmos (BFC), biomassa de açúcar total recuperável (BATR), biomassa seca total da parte aérea (BTPA) e energia total da parte aérea ( $E_{TOT}$ ), respectivamente. Ressalta-se que, para esta variável, os valores de PA foram calculados independentemente da área, representando a biomassa (kg) ou a energia (MJ) gerada por unidade de volume de água ( $m^3$ ) aplicado (Equação 11).

$$PA_{BFC/BATR/BTPA/ET} = \frac{BFC/BATR/BTPA/E_{TOT}}{V} \quad (11)$$

em que:

- PA - produtividade da água ( $kg\ m^{-3}$  ou  $MJ\ m^{-3}$ );
- BFC - biomassa fresca de colmos da repetição (kg);
- BATR - biomassa de açúcar total recuperável da repetição (kg);
- BTPA - biomassa seca total da parte aérea da repetição (kg);
- $E_{TOT}$  - energia total da parte aérea na repetição (MJ);
- V - volume de água aplicado na repetição ( $m^3$ );

### 2.2.8 Análise estatística

Para os valores da variável produtividade da água (PA), onde os parâmetros de produtividade foram ponderados pelo consumo hídrico (variável em função da variedade),

utilizou-se teste de comparação de médias (teste de Tukey), a 5 % de probabilidade, para identificação de possíveis diferenças estatísticas em função das variedades e dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70). Para isto, utilizou-se o programa SISVAR (Sistema de Análise de Variância Para Dados Balanceados) (FERREIRA, 1999). Para as demais variáveis (TCH, ATR, RBA, Biomassa e Energia), os valores são apresentados e discutidos em termos de produtividade potencial, nas condições de T100, e sua redução média observada em função do déficit hídrico aplicado (T70).

### **2.3 Resultados e Discussão**

Os resultados apresentados estão divididos nos seguintes itens: (1) Dados climáticos; (2) Consumo hídrico e produtividade de colmos; (3) Parâmetros tecnológicos dos colmos; (4) Rendimento bruto de açúcar; (5) Produtividade de biomassa seca da parte aérea (Palhão e Bagaço); (6) Partição de energia da biomassa e energia total e (7) Produtividade da água: colmo fresco, açúcar total recuperável, biomassa seca total da parte aérea e energia total da parte aérea.

O item (1) apresenta os elementos climáticos na casa de vegetação durante o período de condução dos estudos. Os resultados apresentados nos itens (2), (3), (4), (5) e (6) sugerem valores potenciais das variáveis estudadas, para a condição de umidade do solo próxima a capacidade de campo (T100), assim como suas reduções médias, quando a variedade recebeu apenas uma fração da sua demanda potencial (T70). Como o manejo em T100 foi conduzido objetivando-se a reposição total da demanda para cada variedade, individualmente, o consumo hídrico foi variável (função da variedade). Desta forma, estas variáveis não são passíveis de aplicação de testes de comparações de médias (dose de água variável), analisando-se apenas o comportamento médio em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70). Os coeficientes de variação (CV) são apresentados como indicativo da variabilidade existente entre as variedades estudadas, em termos de demanda hídrica, bem como nas respostas dos parâmetros de produtividade.

Para o item (7), onde os valores de produtividade da água (PA) representam as respostas dos parâmetros de produtividade de cada variedade, ponderados pelos consumos respectivos (unidade de massa ou de energia por unidade de volume de água aplicado), torna-se possível a aplicação de teste de comparação de médias com a finalidade de agrupar as variedades dentro de cada manejo de irrigação aplicado (T100 ou T70).

### 2.3.1 Dados climáticos

O estudo foi conduzido a partir do dia 28/03/2010, com o corte da cana-planta, até o dia 15/02/2011, por ocasião da colheita, totalizando-se 325 dias de ciclo da cana 1ª soca. Os dados climáticos obtidos no interior da casa de vegetação são apresentados na Tabela 5.

Verificou-se que os meses com maior incidência de radiação solar global (Rg) (novembro, dezembro e janeiro) corresponderam aos meses de maior demanda atmosférica por água, em termos de evapotranspiração de referência (ETo), maior temperatura média do ar (Tmed) e déficit de pressão de vapor (DPV) (Tabela 5), confirmando que a Rg é o elemento com maior peso na estimativa da ETo (CONCEIÇÃO E MARIN, 2004). No período de crescimento e alongação dos colmos, que foi do dia 06/07/2010 (aos 101 DAC) ao dia 31/01/2011 (aos 310 DAC), observou-se um incremento considerável na disponibilidade de energia radiante (Rg), visto a passagem do inverno para a primavera e, posteriormente ao verão, onde as temperaturas médias mensais do ar no interior da casa de vegetação foram acima dos 26 °C (Tabela 5).

Tabela 5 - Dados climáticos do período de condução dos experimentos, Tmin - temperatura mínima média mensal, Tmax - temperatura máxima média mensal, Tmed - temperatura média mensal, URmed - umidade relativa média mensal,  $\sum$  DPV - somatório do déficit de pressão de vapor,  $\sum$  Rg - somatório da radiação solar global e  $\sum$  ETo - somatório da evapotranspiração de referência, Piracicaba - SP, 2010/2011

Meses	Tmin -----(°C)-----	Tmax -----	Tmed -----	URmed ---(%)---	$\sum$ DPV ---(kPa)---	$\sum$ Rg --(MJ m <sup>-2</sup> )--	$\sum$ ETo ---(mm)---
Mar <sup>1</sup>	21,41	36,71	26,45	77,21	3,70	42,63	10,24
Abr	17,88	34,18	24,33	72,65	23,54	338,75	73,57
Mai	14,33	30,69	20,98	74,82	18,84	288,57	57,20
Jun	11,28	30,80	18,96	72,40	16,78	273,21	49,97
Jul*	13,51	31,72	20,71	70,61	19,76	283,42	55,90
Ago	11,38	33,59	20,70	61,16	22,58	341,57	68,39
Set	16,21	34,09	23,47	64,82	27,16	299,11	70,01
Out	16,37	34,72	23,88	67,80	24,67	377,73	86,02
Nov	18,69	37,82	25,87	66,64	29,61	412,40	101,76
Dez	21,09	36,39	26,93	73,55	28,71	385,41	94,33
Jan	22,18	37,38	27,83	74,34	30,94	395,96	98,06
Fev <sup>2</sup>	22,01	38,36	28,08	71,32	21,56	253,61	62,93

\* - Início da diferenciação dos manejos de irrigação (06/07/2010)

<sup>1</sup> - A partir do dia 28/03/2010

<sup>2</sup> - Até o dia 15/02/2011

Do início do mês de fevereiro ao dia 15/02/2011 (colheita), as irrigações foram reduzidas, aplicando-se apenas 10 mm por semana, objetivando-se condicionar o aumento da concentração de sacarose nos colmos (maturação dos colmos) com a redução da disponibilidade hídrica. Porém, devido à época de colheita, não foram observados valores de temperaturas baixas (médias mínimas  $<16$  °C) (Tabela 5), outro importante fator que pode condicionar a um incremento do teor de sacarose nos colmos (INMAN-BAMBER, 2004).

## **2.3.2 Consumo hídrico e produtividade de colmos**

### **2.3.2.1 Considerações gerais**

Os dados referentes à demanda hídrica (mm) e produtividade média de colmos por hectare (TCH) sob irrigação plena (T100) e com déficit (T70), a redução absoluta na produtividade média de colmos (RAC) ( $t\ ha^{-1}$ ) e as relações T70/T100 (adimensional) para as lâminas totais aplicadas e para as produtividades obtidas, nas diferentes variedades (VAR) estudadas, são apresentados na Tabela 6 (experimento 1) e Tabela 7 (experimento 2).

Verificaram-se variações na demanda potencial por água, ou seja, manejadas de acordo com T100. Estas variações podem ser atribuídas a possíveis diferenças existentes, entre as variedades, em características morfofisiológicas, tais como, rugosidade da superfície, arquitetura da planta, condutância e resistência hidráulica, dentre outras, influenciando assim, os processos de trocas gasosas/energéticas (ANGELOCCI, 2002; NOBEL, 1999). Segundo estes autores, estas diferenças podem resultar em melhorias na produtividade da água (PA), porém, ressalta-se que este indicador sofre influência das condições edafoclimáticas do local de cultivo.

De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), a demanda da cultura da cana-de-açúcar, em condições de campo, pode variar entre 1500 a 2500 mm. Observou-se que os valores encontrados neste estudo, em condições de casa de vegetação, foram significativamente menores aos relatados por estes autores (Tabelas 6 e 7). Estes resultados podem ser atribuídos a dois fatores principais. Devido às alterações dos elementos climáticos, condicionada pelo ambiente protegido, proporcionando reduções na  $R_g$  e, conseqüentemente, na evapotranspiração da cultura (ETc), bem como, as imprecisões na quantificação, a nível de campo, das perdas por escoamento

superficial e drenagem profunda, quando se consideram as precipitações na estimativa da demanda.

Porém, os valores médios da ETc (803,5 mm para o experimento 1 e 721,1 mm para o experimento 2) condizem com a demanda média potencial da cultura, em termos do coeficiente de cultivo (Kc), propostos por Doorenbos e Kassam (1979). O Kc médio para a cultura da cana-de-açúcar, em condições de campo, é na ordem de 0,84 e os valores observados neste estudo foram na ordem de 0,97 e 0,87 em função da ETo acumulada no período do estudo (828,4 mm) (Tabela 5).

Tabela 6 - Dados médios do consumo hídrico, razão entre os consumos hídricos (T70/T100), produtividade estimada de colmos por hectare (TCH), redução da produtividade de colmos (RAC) e razão da TCH (T70/T100) para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	Lâmina**			TCH*			
	------(mm)-----		T70/T100	------(t ha <sup>-1</sup> )-----			T70/T100
	T100	T70		T100	T70	RAC	
RB867515	796,0 (1442,8)	607,5 (1101,1)	0,76	216,6 (392,6)	151,6 (274,8)	65,0 (117,9)	0,70
CTC8	890,3 (1613,7)	676,9 (1227,0)	0,76	211,7 (383,7)	144,1 (261,3)	67,6 (122,5)	0,68
RB855536	921,3 (1669,8)	700,3 (1269,2)	0,76	209,4 (379,5)	147,5 (267,3)	61,9 (112,2)	0,70
CTC6	740,4 (1342,0)	560,1 (1015,1)	0,76	206,1 (373,5)	153,2 (277,7)	52,9 (95,8)	0,74
CTC14	690,5 (1251,5)	526,9 (955,0)	0,76	192,6 (349,1)	145,5 (263,7)	47,1 (85,5)	0,76
SP89-1115	777,0 (1408,3)	594,4 (1077,3)	0,76	190,6 (345,4)	141,8 (257,0)	48,7 (88,4)	0,74
RB835054	993,9 (1801,5)	742,6 (1346,0)	0,75	180,2 (326,6)	172,5 (312,7)	7,7 (13,9)	0,96
RB925211	780,9 (1415,4)	588,0 (1065,7)	0,75	176,4 (319,8)	129,1 (234,0)	47,4 (85,9)	0,73
SP81-3250	613,8 (1112,5)	467,2 (846,8)	0,76	171,9 (311,6)	114,5 (207,6)	57,4 (104,1)	0,67
RB855453	831,2 (1506,6)	621,5 (1126,4)	0,75	167,2 (303,1)	129,0 (233,8)	38,2 (69,3)	0,77
<b>Média</b>	<b>803,5 (1456,4)</b>	<b>608,5 (1103,0)</b>	<b>0,76</b>	<b>192,3 (348,5)</b>	<b>142,9 (259,0)</b>	<b>49,4 (89,5)</b>	<b>0,75</b>
<b>CV (%)</b>	<b>13,9</b>	<b>13,5</b>	<b>0,85</b>	<b>9,3</b>	<b>11,1</b>	<b>35,0</b>	<b>11,0</b>

\* Os valores de TCH foram extrapolados considerando-se a área ocupada pelas plantas na caixa (1,8 m<sup>2</sup>), assim como, a área de solo da caixa (1,0 m<sup>2</sup>), valores entre parênteses ( ). Desta forma, mesmo com as dificuldades de extrapolação, a TCH encontra-se nesta faixa.

\*\* Valores entre parentes são equivalentes a litros caixa<sup>-1</sup> (1m<sup>2</sup>).



Tabela 7 - Dados médios do consumo hídrico, razão entre os consumos hídricos (T70/T100), produtividade estimada de colmos por hectare (TCH), redução da produtividade de colmos (RAC) e razão da TCH (T70/T100) para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	Lâmina**			TCH*			
	------(mm)-----		T70/T100	------(t ha <sup>-1</sup> )-----			T70/T100
	T100	T70		T100	T70	RAC	
RB92579	761,7 (1380,6)	583,3 (1057,2)	0,77	200,6 (363,6)	135,4 (245,4)	65,2 (118,2)	0,67
CTC17	805,7 (1460,3)	610,5 (1106,5)	0,76	176,6 (320,1)	130,8 (237,1)	45,8 (83,1)	0,74
CTC9	763,6 (1384,0)	583,7 (1058,0)	0,76	172,7 (313,0)	133,5 (242,1)	39,1 (70,9)	0,77
SP83-2847	778,3 (1410,7)	593,4 (1075,5)	0,76	164,8 (298,8)	133,5 (242,0)	31,3 (56,8)	0,81
RB925345	820,1 (1486,4)	623,0 (1129,1)	0,76	163,2 (295,9)	132,4 (240,1)	30,8 (55,8)	0,81
RB966928	768,6 (1393,2)	590,9 (1071,0)	0,77	157,8 (286,0)	135,3 (245,2)	22,5 (40,8)	0,86
SP90-3414	649,1 (1176,4)	499,9 (906,0)	0,77	154,7 (280,4)	128,2 (232,4)	26,5 (48,0)	0,83
CTC2	729,4 (1322,0)	555,4 (1006,7)	0,76	154,3 (279,6)	127,6 (231,3)	26,7 (48,4)	0,83
RB855156	723,8 (1311,8)	551,5 (999,6)	0,76	146,6 (265,8)	112,9 (204,6)	33,8 (61,2)	0,77
SP79-1011	663,5 (1202,5)	514,7 (932,9)	0,78	144,5 (261,9)	117,4 (212,9)	27,1 (49,1)	0,81
CTC15	678,8 (1230,3)	521,9 (946,0)	0,77	144,3 (261,6)	119,8 (217,1)	24,5 (44,5)	0,83
RB72454	738,8 (1339,1)	565,5 (1025,0)	0,77	143,8 (260,7)	119,7 (217,0)	24,1 (43,7)	0,83
IACSP95-5000	682,2 (1236,5)	524,6 (950,9)	0,77	119,6 (216,7)	102,0 (184,8)	17,6 (31,9)	0,85
Caiana	531,4 (963,2)	416,2 (754,3)	0,78	116,5 (211,1)	93,8 (170,1)	22,6 (41,1)	0,81
<b>Média</b>	<b>721,1 (1306,9)</b>	<b>552,5 (1001,3)</b>	<b>0,77</b>	<b>154,3 (279,6)</b>	<b>123,0 (223,0)</b>	<b>31,3 (56,7)</b>	<b>0,80</b>
<b>CV (%)</b>	<b>10,5</b>	<b>9,8</b>	<b>0,87</b>	<b>14,1</b>	<b>10,1</b>	<b>39,0</b>	<b>6,1</b>

\* Os valores de TCH foram extrapolados considerando-se a área ocupada pelas plantas na caixa (1,8 m<sup>2</sup>), assim como, a área de solo da caixa (1,0 m<sup>2</sup>), valores entre parênteses ( ). Desta forma, mesmo com as dificuldades de extrapolação, a TCH encontra-se nesta faixa.

\*\* Valores entre parenteses são equivalentes a litros caixa<sup>-1</sup> (1m<sup>2</sup>).

### 2.3.2.2 Considerações sobre o experimento 1

Considerando-se uma situação em que água não seja um fator de produção limitante, para as variedades cultivadas no experimento 1 (variedades mais exigentes em ambiente de produção), observou-se uma variação do consumo hídrico (T100) na ordem de 613,8 a 993,9 mm e coeficiente de variação (CV) igual a 13,9%, indicando uma variabilidade média (10 a 20%) (PIMENTEL-GOMES E GARCIA, 2002) desta variável. (Tabela 6). Em termos de produtividade de colmos (TCH), houve uma variação na ordem de 167,2 a 216,6 t ha<sup>-1</sup> (média de 192,3 t ha<sup>-1</sup>) e um coeficiente de variação (CV) de 9,3%, indicando uma baixa variabilidade (< 10%) na TCH, nas condições de T100. Esta variabilidade retrata as diferenças genéticas existentes entre as variedades, em termos TCH potencial. Contudo, como a variabilidade observada entre as demandas foi maior que a variabilidade da TCH, espera-se que ocorram diferenças entre variedades, em termos de produtividade da água.

No que se refere à produtividade potencial de colmos (TCH em T100), destacaram-se as variedades RB867515, CTC8, RB855536 e CTC6 (> 200 t ha<sup>-1</sup>), com consumos na ordem de 796,0; 890,3; 921,3 e 740,4 mm, respectivamente. As variedades CTC14 e SP89-1115 apresentaram TCH em torno de 190 t ha<sup>-1</sup> e consumos respectivos de 690,5 e 777,0 mm, seguidas pelas variedades RB835054 (180,2 t ha<sup>-1</sup> e 993,9 mm) e RB925211 (176,4 t ha<sup>-1</sup> e 780,9 mm). As variedades SP81-3250 e RB855453 apresentaram TCH de 171,9 e 167,2 t ha<sup>-1</sup>, para consumos de 613,8 e 831,2 mm, respectivamente (Tabela 6).

Considerando-se agora, uma situação em que a água seja um fator de produção limitante (T70), observou-se uma redução média na TCH na ordem de 25%, para as variedades deste experimento. A redução absoluta média da produtividade de colmos (RAC) foi na ordem de 49,4 t ha<sup>-1</sup>. Ainda em termos médios, observou-se uma relação próxima entre a razão (T70/T100) das lâminas totais aplicadas (0,76) e da TCH (0,75). Isto indica que, em termos médios, com 76% da água consumida em T100, houve uma TCH de 75%. Porém, analisando-se as variedades individualmente, verificam-se diferenças nesta razão (para mais ou para menos), indicando a existência de variedades com diferenças na produtividade da água em biomassa fresca de colmos em função das condições de déficit hídrico (T70).

A menor RAC foi observada na variedade RB835054, com apenas 7,7 t ha<sup>-1</sup> (4%), e TCH de 172,5 t ha<sup>-1</sup>. Porém, este comportamento pode estar relacionado ao elevado consumo hídrico

observado para esta variedade submetida à irrigação plena (993,9 mm), provavelmente influenciada por fluxo de calor advectivo, visto que foi cultivada no início da estufa (área tampão), denotando-se um provável efeito varal, observado em bordadura. Desta forma, a lâmina de irrigação aplicada em T70 (função de T100), também foi elevada em relação às demais variedades (Tabela 6) (aplica-se apenas a esta variedade). Este efeito externo contribuiu para o aumento no kc médio deste experimento (0,97), observado anteriormente. As variedades CTC6 e RB867515 apresentaram bons rendimentos sob déficit hídrico (153,2 e 151,6 t ha<sup>-1</sup>), porém, com RAC acima da média para as variedades deste experimento (52,9 t ha<sup>-1</sup> e 65,0 t ha<sup>-1</sup>), representando reduções relativas de 26 e 30%, respectivamente.

Para as variedades CTC8 e RB855536, observaram-se desempenhos semelhantes na TCH (>140 t ha<sup>-1</sup>) e RAC de 67,6 t ha<sup>-1</sup> (32%) e 61,9 t ha<sup>-1</sup> (30%), respectivamente. As variedades CTC14 e SP89-1115, também apresentaram rendimentos superiores a 140 t ha<sup>-1</sup>, porém, com menores valores de RAC de 47,1 t ha<sup>-1</sup> (24%) e 48,7 t ha<sup>-1</sup> (26%). Para as variedades RB925211 e RB855453 verificaram-se TCH semelhantes (129,1 e 129,0 t ha<sup>-1</sup>), contudo, a variedade RB925211 apresentou maior RAC (47,4 t ha<sup>-1</sup> ou 27%) do que RB855453 (38,2 t ha<sup>-1</sup> ou 23%). A menor TCH em T70 foi observada na variedade SP81-3250 (114,5 t ha<sup>-1</sup>), com RAC de 57,4 t ha<sup>-1</sup> (33%).

### 2.3.2.3 Considerações sobre o experimento 2

Para as condições deste experimento, e considerando-se uma situação em que água não seja um fator de produção limitante (T100), observou-se uma variação do consumo hídrico na ordem de 531,4 a 820,1 mm (variedades menos exigentes em ambiente de produção) e coeficiente de variação (CV) igual a 10,5% indicando, também, uma variabilidade média (10 a 20%) desta variável, para as variedades estudadas (Tabela 7). Em termos de TCH, houve uma variação na ordem de 116,5 a 200,6 t ha<sup>-1</sup> (média de 154,3 t ha<sup>-1</sup>) e um coeficiente de variação (CV) de 14,1%, indicando, neste caso, uma variabilidade média na TCH, nas condições de T100. Em relação à produtividade potencial de colmos (TCH em T100), destacou-se a variedade RB92579 (200,6 t ha<sup>-1</sup>) com consumo hídrico de 761,7 mm. Para as variedades CTC17 e CTC9 foram observados TCH de 176,6 e 172,7 t ha<sup>-1</sup> e consumos de 805,7 e 763,6 mm, respectivamente. As variedades SP83-2847 e RB925345 apresentaram desempenhos próximos (164,8 e 163,2 t ha<sup>-1</sup>) e consumos na

ordem de 778,3 e 820,1 mm, respectivamente. Rendimentos intermediários foram observados nas variedades RB966928 (157,8 t ha<sup>-1</sup> e 768,6 mm), SP90-3414 (154,7 t ha<sup>-1</sup> e 649,1 mm), CTC2 (154,3 t ha<sup>-1</sup> e 729,4 mm), RB855156 (146,6 t ha<sup>-1</sup> e 723,8 mm), SP79-1011 (144,5 t ha<sup>-1</sup> e 663,5 mm), CTC15 (144,3 t ha<sup>-1</sup> e 678,8 mm) e RB72454 (143,8 t ha<sup>-1</sup> e 738,8 mm). Souza et al. (1999), trabalhando com a variedade SP79-1011, observaram máxima TCH na ordem de 141,9 t ha<sup>-1</sup>, valor próximo ao obtido neste trabalho, porém com uma lâmina total de 1589 mm, em 13 meses de cultivo. Já para a variedade RB72454, estes mesmos autores, verificaram máxima TCH (155,8 t ha<sup>-1</sup>) com uma lâmina total de 1568 mm, para os mesmos 13 meses de cultivo. Gomes (1999), também com a variedade RB72454, em cana-planta e com uma lâmina de 1195 mm, observou uma TCH média de 130 t ha<sup>-1</sup>. As menores TCH foram observadas nas variedades IACSP95-5000 e Caiana com 119,6 e 116,5 t ha<sup>-1</sup> e consumos de 682,2 e 416,2 mm, respectivamente (Tabela 7).

Considerando-se, agora, uma situação em que água seja um fator de produção limitante (T70), observou-se uma redução média na TCH na ordem de 20%, para as variedades estudadas. A redução absoluta média da produtividade de colmos (RAC) foi na ordem de 31,3 t ha<sup>-1</sup>. Ainda em termos médios, observou-se uma relação próxima entre a razão (T70/T100) das lâminas totais aplicadas (0,77) e da TCH (0,80). Desta forma, em termos médios, com 77% da água consumida em T100, houve uma TCH de 80%. A redução média na TCH, observada nestas variedades, foi menor quando comparada as variedades do experimento 1, demonstrando maior “tolerância” ao déficit hídrico, pois, de maneira geral, são variedades menos exigentes em ambiente de produção.

A menor RAC foi observada na variedade RB966928, com apenas 22,5 t ha<sup>-1</sup> (14%), para uma TCH de 135,3 t ha<sup>-1</sup>. Verificou-se um grupo de variedades com TCH em torno de 130 t ha<sup>-1</sup> (RB92579, CTC17, CTC9, SP83-2847, RB925345, SP90-3414, CTC2), porém, com variações na RAC. A variedade RB92579, destaque em T100, apresentou RAC na ordem de 65,2 t ha<sup>-1</sup> (33%), demonstrando ser um material de alto rendimento sob irrigação plena (T100), porém, com um declínio acentuado quando submetido ao déficit hídrico (T70). Nas demais variedades deste grupo observaram-se RAC de 45,8 t ha<sup>-1</sup> ou 26% (CTC17), 39,1 t ha<sup>-1</sup> ou 23% (CTC9), 31,3 t ha<sup>-1</sup> ou 19% (SP83-2847), 30,8 t ha<sup>-1</sup> ou 19% (RB925345), 26,5 t ha<sup>-1</sup> ou 17% (SP90-3414) e 26,7 t ha<sup>-1</sup> ou 17% (CTC2). As variedades CTC15, RB72454 e SP79-1011 apresentaram TCH semelhantes (próximo a 120 t ha<sup>-1</sup>) com RAC respectivas, na ordem de 24,5 t ha<sup>-1</sup> (17%), 24,1 t ha<sup>-1</sup> (17%) e 27,1 t ha<sup>-1</sup> (19%), seguidas pela variedade RB855156 (112,9 t ha<sup>-1</sup>) e RAC de 33,8 t ha<sup>-1</sup> (23%).

As menores TCH foram observadas nas variedades IACSP95-5000 e Caiana (102,0 e 93,8 t ha<sup>-1</sup>) com RAC na ordem de 17,6 t ha<sup>-1</sup> (15%) e 22,6 t ha<sup>-1</sup> (19%), respectivamente (Tabela 7).

### **2.3.3 Parâmetros tecnológicos dos colmos**

#### **2.3.3.1 Considerações gerais**

Os parâmetros tecnológicos dos colmos, para as diferentes variedades de cana-de-açúcar (VAR) em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), são apresentados na Tabela 8 (experimento 1) e Tabela 9 (experimento 2). As variedades estão dispostas em ordem decrescente, de acordo com o ATR obtido em T100. Os parâmetros tecnológicos dos colmos estão associados diretamente com as características de cada variedade (material genético), determinando assim, o potencial produtivo de açúcares em relação à massa de colmos, aqui expressos em açúcar total recuperável (ATR). Porém, estes parâmetros podem ser influenciados pelo sistema de cultivo, condições edafoclimáticas, época de colheita, dentre outros. Desta forma, os parâmetros tecnológicos dos colmos mostram as variações médias observadas para um grupo de variedades (comportamento médio), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70).

#### **2.3.3.2 Considerações sobre o experimento 1**

Considerando-se os valores médios dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), foram observadas diferenças significativas, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, para os parâmetros pureza do caldo (Q), teor de fibra da cana (F), teor de sacarose aparente da cana (PC) e açúcar total recuperável (ATR). Para o parâmetro teor de açúcares redutores da cana (ARC), não foi observada diferença significativa. Verificou-se incremento do teor de fibra (F) em T70, provavelmente devido à redução do teor de umidade dos colmos em condições de déficit. Observou-se redução do ATR em T70, devido à diminuição na pureza do caldo (Q) e o teor de sacarose aparente da cana (PC), indicando que o acúmulo de açúcar foi prejudicado na condição de déficit (T70), para as variedades do experimento 1 (variedades mais exigentes em ambiente de produção). Apenas para a variedade RB835054 não foi observado este comportamento, com ATR na ordem de 140,7 kg t<sup>-1</sup> (T100) e 142,1 kg t<sup>-1</sup> (T70) (Tabela 8).

Tabela 8 - Dados médios de pureza do caldo (Q), teor de fibra da cana (F), teor de sacarose aparente da cana (PC), teor de açúcares redutores da cana (ARC) e açúcar total recuperável (ATR) para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	Q		F		PC		ARC		ATR	
	-----(%)------									
	T100	T70	T100	T70	T100	T70	T100	T70	----- (kg t <sup>-1</sup> de cana)-----	
	T100	T70	T100	T70	T100	T70	T100	T70	T100	T70
RB835054	85,8	84,9	7,0	6,9	14,2	14,3	0,6	0,7	140,7	142,1
RB855453	83,7	81,9	6,9	8,9	13,1	11,1	0,7	0,7	131,6	112,5
RB855536	84,3	83,2	8,0	9,0	13,1	12,0	0,7	0,7	131,3	120,2
CTC6	83,5	80,4	8,1	9,6	12,0	10,8	0,7	0,8	120,8	109,9
SP89-1115	82,0	78,7	7,6	9,3	11,9	10,8	0,8	0,8	120,4	110,4
RB925211	82,5	79,3	7,9	9,5	11,5	10,0	0,7	0,8	116,5	102,9
SP81-3250	80,7	77,7	8,3	9,5	11,1	10,2	0,8	0,9	113,2	104,6
RB867515	78,6	79,1	8,4	8,9	10,7	10,6	0,8	0,8	109,3	108,2
CTC14	78,5	76,9	8,9	10,0	10,3	9,5	0,8	0,9	105,8	98,6
CTC8	78,3	80,3	9,3	10,5	9,9	10,7	0,8	0,8	102,2	109,2
<b>Média</b>	<b>81,8 A</b>	<b>80,2 B</b>	<b>8,0 B</b>	<b>9,2 A</b>	<b>11,8 A</b>	<b>11,0 B</b>	<b>0,8 A</b>	<b>0,8 A</b>	<b>119,2 A</b>	<b>111,9 B</b>

\* Médias dos parâmetros seguidos pela mesma letra na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 9 - Dados médios de pureza do caldo (Q), teor de fibra da cana (F), teor de sacarose aparente da cana (PC), teor de açúcares redutores da cana (ARC) e açúcar total recuperável (ATR) para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	Q		F		PC		ARC		ATR	
	------(%)-----									
	T100	T70	T100	T70	T100	T70	T100	T70	----- (kg t <sup>-1</sup> de cana)-----	
									T100	T70
RB855156	87,2	88,1	8,8	11,4	15,0	15,4	0,6	0,5	148,6	151,9
RB925345	87,7	84,7	10,5	15,2	14,9	12,5	0,6	0,6	147,1	124,3
CTC9	85,9	85,7	8,8	10,5	14,5	13,5	0,6	0,6	143,8	134,5
RB966928	83,6	89,5	8,2	9,8	14,0	17,0	0,7	0,5	140,1	166,5
CTC2	83,6	85,8	8,9	10,1	14,0	14,2	0,7	0,6	139,3	140,7
RB72454	82,6	82,4	8,5	10,0	13,6	13,3	0,7	0,7	136,0	133,1
IACSP95-5000	81,5	82,7	8,6	11,5	13,4	13,1	0,8	0,7	134,4	131,4
RB92579	82,0	80,7	8,5	10,5	12,9	12,1	0,7	0,8	129,6	122,6
SP79-1011	80,3	82,1	10,3	11,6	12,4	12,3	0,8	0,7	125,0	123,7
SP90-3414	82,5	84,0	10,4	12,3	12,3	12,6	0,7	0,6	124,0	125,8
SP83-2847	78,1	78,5	8,7	11,5	11,8	11,0	0,9	0,8	120,4	112,1
CTC15	79,6	82,7	10,3	11,9	11,6	11,8	0,8	0,7	117,5	119,1
CTC17	82,6	83,3	11,1	12,8	11,4	11,7	0,7	0,7	114,6	117,2
Caiana	70,0	70,5	8,6	8,5	9,2	9,3	1,1	1,1	97,3	98,7
<b>Média</b>	<b>81,9 A</b>	<b>82,9 A</b>	<b>9,3 B</b>	<b>11,3 A</b>	<b>12,9 A</b>	<b>12,9 A</b>	<b>0,7 A</b>	<b>0,7 A</b>	<b>129,8 A</b>	<b>128,7 A</b>

\* Médias dos parâmetros seguidos pela mesma letra na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

### 2.3.3.3 Considerações sobre o experimento 2

Considerando-se os valores médios dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), foram observadas diferenças significativas, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, apenas para o parâmetro teor de fibra da cana (F). Para os demais parâmetros (Q, PC, ARC e ATR), não foram observadas diferenças significativas (Tabela 9).

Este comportamento diferenciado em relação ao experimento 1, pode estar relacionado a menor exigência em termos de ambiente de produção, associada as variedades do experimento 2, onde verificou-se a manutenção da conversão média de açúcar por unidade de massa de colmo ( $\text{kg t}^{-1}$ ), para a média dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70). Observou-se um incremento, também, do teor de fibra (F) em função do déficit hídrico (T70). Em termos de ATR, considerando-se as variedades individualmente, destaca-se a variedade RB966928 com incremento de  $26,4 \text{ kg t}^{-1}$  em T70. Já para a variedade RB925345 observou-se incremento no ATR em T100 ( $22,8 \text{ kg t}^{-1}$ ), comportamento fora do padrão para este experimento (Tabela 9).

### 2.3.4 Rendimento bruto de açúcar (RBA)

#### 2.3.4.1 Considerações gerais

Os valores correspondentes ao RBA e a redução do RBA (RAA), em  $\text{t ha}^{-1}$ , assim como a razão (T70/T100) do RBA, para as diferentes variedades (VAR) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), são apresentados na Tabela 10 (experimento 1) e Tabela 11 (experimento 2). As variedades estão dispostas em ordem decrescente, de acordo com o RBA obtido em T100.



Tabela 10 - Dados médios do rendimento bruto de açúcar (RBA), redução do RBA (RAA) e a razão (T70/T100) do RBA, para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	Rendimento bruto de açúcar – RBA*			
	------(t ha <sup>-1</sup> )-----			T70/T100
	T100	T70	RAA	
RB855536	27,5 (49,8)	17,7 (32,1)	9,8 (17,7)	0,64
RB835054	25,3 (45,9)	24,5 (44,4)	0,8 (1,5)	0,97
CTC6	24,9 (45,1)	16,8 (30,5)	8,1 (14,6)	0,68
RB867515	23,6 (42,8)	16,4 (29,7)	7,3 (13,1)	0,69
SP89-1115	23,0 (41,7)	15,5 (28,0)	7,5 (13,6)	0,67
RB855453	22,0 (39,9)	14,5 (26,3)	7,5 (13,6)	0,66
CTC8	21,6 (39,2)	15,7 (28,5)	5,9 (10,7)	0,73
RB925211	20,6 (37,3)	13,3 (24,1)	7,3 (13,2)	0,65
CTC14	20,4 (36,9)	14,3 (26,0)	6,0 (10,9)	0,70
SP81-3250	19,5 (35,3)	12,0 (21,7)	7,5 (13,6)	0,62
<b>Média</b>	<b>22,8 (41,4)</b>	<b>16,1 (29,1)</b>	<b>6,8 (12,3)</b>	<b>0,70</b>
<b>CV (%)</b>	<b>11,1</b>	<b>21,3</b>	<b>34,6</b>	<b>14,1</b>

\*Os valores foram extrapolados considerando-se a área ocupada pelas plantas na caixa (1,8 m<sup>2</sup>), assim como, a área de solo da caixa (1,0 m<sup>2</sup>), valores entre parênteses ( ).

Tabela 11 - Dados médios do rendimento bruto de açúcar (RBA), redução do RBA (RAA) e a razão (T70/T100) do RBA, para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	Rendimento bruto de açúcar – RBA*			
	------(t ha <sup>-1</sup> )-----			T70/T100
	T100	T70	RAA	
RB92579	26,0 (47,1)	16,6 (30,1)	9,4 (17,0)	0,64
CTC9	24,8 (45,0)	18,0 (32,6)	6,9 (12,4)	0,72
RB925345	24,0 (43,5)	16,5 (29,8)	7,6 (13,7)	0,69
RB966928	22,1 (40,1)	22,5 (40,8)	-0,4 (-0,7)	1,02
RB855156	21,8 (39,5)	17,1 (31,1)	4,6 (8,4)	0,79
CTC2	21,5 (38,9)	18,0 (32,5)	3,5 (6,4)	0,84
CTC17	20,2 (36,7)	15,3 (27,8)	4,9 (8,9)	0,76
SP83-2847	19,8 (36,0)	15,0 (27,1)	4,9 (8,8)	0,75
RB72454	19,6 (35,4)	15,9 (28,9)	3,6 (6,6)	0,81
SP90-3414	19,2 (34,8)	16,1 (29,2)	3,1 (5,5)	0,84
SP79-1011	18,1 (32,7)	14,5 (26,3)	3,5 (6,4)	0,80
CTC15	17,0 (30,7)	14,3 (25,8)	2,7 (4,9)	0,84
IACSP95-5000	16,1 (29,1)	13,4 (24,3)	2,7 (4,8)	0,83
Caiana	11,3 (20,5)	9,3 (16,8)	2,1 (3,8)	0,82
<b>Média</b>	<b>20,1 (36,4)</b>	<b>15,9 (28,8)</b>	<b>4,2 (7,6)</b>	<b>0,80</b>
<b>CV (%)</b>	<b>19,0</b>	<b>18,4</b>	<b>58,6</b>	<b>11,2</b>

### 2.3.4.2 Considerações sobre o experimento 1

Sob condições de irrigação plena (T100), observou-se uma variação no RBA na ordem de 19,5 a 27,5 t ha<sup>-1</sup> (média de 22,8 t ha<sup>-1</sup>) e coeficiente de variação (CV) de 11,1%, indicando uma variabilidade média (10 a 20%) (PIMENTEL-GOMES & GARCIA, 2002) no desempenho do RBA entre as variedades, nesta condição (Tabela 10). Esta variabilidade retrata as diferenças genéticas existentes entre as variedades, tanto em termos da TCH quanto em ATR.

O melhor desempenho em RBA foi verificado para a variedade RB855536 (27,5 t ha<sup>-1</sup>), por combinar bom desempenho na TCH e ATR. As variedades RB835054 (25,3 t ha<sup>-1</sup>), CTC6 (24,9 t ha<sup>-1</sup>), RB867515 (23,6 t ha<sup>-1</sup>) e SP89-1115 (23,0 t ha<sup>-1</sup>), também apresentaram desempenhos superiores à média observada neste experimento. A variedade RB835054, apesar da TCH abaixo da média, destacou-se em termos de ATR. CTC6 apresentou elevada TCH, e ATR ligeiramente acima da média. Para a RB867515, apesar de apresentar à maior TCH observada, verificou-se ATR abaixo da média observada nas variedades estudadas. Andrade Júnior et al. (2009), em estudo com a mesma variedade (cana planta), nas condições do meio-norte piauiense, observaram máximo RBA na ordem de 20,3 t ha<sup>-1</sup>, utilizando-se gotejamento subsuperficial. Para as variedades RB855453 (22,0 t ha<sup>-1</sup>), CTC8 (21,6 t ha<sup>-1</sup>), RB925211 (20,6 t ha<sup>-1</sup>), CTC14 (20,4 t ha<sup>-1</sup>) e SP81-3250 (19,5 t ha<sup>-1</sup>), observaram-se menores RBA. A variedade RB855453 apresentou a menor TCH para este experimento, porém, destacou-se em ATR (131 kg t<sup>-1</sup>), ficando atrás apenas da RB835054. Na variedade CTC8, apesar do elevado potencial produtivo (TCH), observou-se o menor valor de ATR, para este experimento. Para as demais variedades (RB925211, CTC14 e SP81-3250), observaram-se valores de TCH e ATR abaixo dos valores médios encontrados para este experimento (Tabelas 6 e 8).

Sob condições de déficit hídrico (T70) a redução do RBA (RAA) observada foi na ordem de 6,8 t ha<sup>-1</sup> (30%), para a média das variedades estudadas. A razão (T70/T100) para o RBA (0,70) foi menor que a razão entre as lâminas totais aplicadas (0,76), indicando, de maneira geral, que com 76% da água consumida em T100, houve um RBA de 70%, também em relação a T100. Como visto anteriormente, as razões (T70/T100) entre lâminas totais aplicadas (0,76) e entre as TCHs (0,75) foram próximas, para este experimento. Desta forma, a redução da razão entre os RBAs (0,70) ocorreu pela ligeira redução do ATR, observada em condições de déficit hídrico (variedades mais exigentes em ambiente de produção) (Tabela 8).

A menor RAA foi observada na variedade RB835054 com apenas 0,8 t ha<sup>-1</sup> (3,2%) com um RBA de 24,5 t ha<sup>-1</sup>. Porém, condicionada pela pequena redução na TCH (4%) (Tabela 6), explicada anteriormente, e por um ligeiro incremento do ATR observado em T70 (Tabela 8). As variedades RB855536 (17,7 t ha<sup>-1</sup>), CTC6 (16,8 t ha<sup>-1</sup>) e RB867515 (16,4 t ha<sup>-1</sup>) apresentaram RBA acima da média observada em T70. Porém, verificaram-se RAAs na ordem de 9,8 t ha<sup>-1</sup> (36%), 8,1 t ha<sup>-1</sup> (32%) e 7,3 t ha<sup>-1</sup> (31%), respectivamente. Para as variedades SP89-1115 e CTC8 apresentaram RBAs próximos (15,5 e 15,7 t ha<sup>-1</sup>) e RAAs respectivos na ordem de 7,5 t ha<sup>-1</sup> (33%) e 5,9 t ha<sup>-1</sup> (27%), seguidas das variedades RB855453 (14,5 t ha<sup>-1</sup>) e CTC14 (14,3 t ha<sup>-1</sup>) com RAAs na ordem de 7,5 t ha<sup>-1</sup> (34%) e 6,0 t ha<sup>-1</sup> (30%), respectivamente. Os menores RBA foram observados nas variedades RB925211 e SP81-3250 (13,3 e 12,0 t ha<sup>-1</sup>) com RAAs de 7,3 t ha<sup>-1</sup> (35%) e 7,5 t ha<sup>-1</sup> (38%), respectivamente.

#### **2.3.4.3 Considerações sobre o experimento 2**

Sob condições de irrigação plena (T100), observou-se variação no RBA na ordem de 11,3 a 26,0 t ha<sup>-1</sup> (média 20,1 t ha<sup>-1</sup>) e um coeficiente de variação (CV) de 19,0%, indicando uma variabilidade média (10 a 20%) no desempenho do RBA entre as variedades estudadas, nesta condição (Tabela 11).

O melhor desempenho em RBA foi verificado na variedade RB92579 (26,0 t ha<sup>-1</sup>), principalmente pelo alto potencial observado na TCH. Nas variedades CTC9 e RB925345 foram observados RBA na ordem de 24,8 e 24,0 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, decorrentes do bom desempenho na TCH, assim como de ATR (> 140 kg t<sup>-1</sup>). Para as variedades RB966928 (22,1 t ha<sup>-1</sup>), RB855156 (21,8 t ha<sup>-1</sup>) e CTC2 (21,5 t ha<sup>-1</sup>), observaram-se RBAs semelhantes. Estas variedades apresentaram valores intermediários na TCH (Tabela 7), porém, merecem destaque pelos elevados valores de ATR (Tabela 9). Nas variedades CTC17, SP83-2847, RB72454, SP90-3414, verificaram-se RBAs médios, na ordem de 20,2, 19,8, 19,6, e 19,2 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A variedade CTC17, apesar do elevado potencial na TCH (perdendo apenas para RB92579) apresentou baixo desempenho, em termos de ATR. Este comportamento, também foi observado para a SP83-2847. Já, na variedade RB72454, verificou-se ATR na ordem de 136 kg t<sup>-1</sup>, porém, TCH abaixo da média observada neste experimento. Menores RBA foram observados nas variedades SP79-1011 (18,1 t ha<sup>-1</sup>), CTC15 (17,0 t ha<sup>-1</sup>) e IACSP95-5000 (16,1 t ha<sup>-1</sup>),

decorrentes de menores TCH, assim como, de ATR. Por fim, Caiana (*Saccharum officinarum*), com RBA de 11,3 t ha<sup>-1</sup>, visto que esta variedade apresentou os menores valores de TCH e ATR (Tabelas 7 e 9). Esta variedade não se trata de um híbrido (*Saccharum* spp.), desta forma, evidencia-se como o hibridismo, através da seleção e do melhoramento genético, tem contribuindo para o incremento dos rendimentos na cultura da cana-de-açúcar.

Sob condições de déficit hídrico (T70), a redução do RBA (RAA) observada foi na ordem de 4,2 t ha<sup>-1</sup> (20%), para a média das variedades avaliadas. A razão (T70/T100) para o RBA (0,80) foi maior que a razão entre lâminas totais aplicadas (0,77), indicando, de maneira geral, que com 77% da água consumida em T100, houve um RBA de 80%, também em relação a T100. Como visto anteriormente, a razão (T70/T100) observada entre as TCHs, neste experimento, também foi na ordem de 0,80. Desta forma, percebe-se que nesta situação, a redução do RBA (RAA) foi proporcional a redução da TCH (RAC), pois, não foram observadas diferenças significativas no ATR para a média dos manejos de irrigação aplicados (Tabela 9).

Considerando-se as variedades individualmente, destacou-se a RB966928, com RBA em T70 (22,5 t ha<sup>-1</sup>) equivalente ao RBA em T100. Este comportamento explica-se pela pequena redução na TCH (RAC de 14%) e pelo incremento considerável de ATR (26,4 kg t<sup>-1</sup>), quando esta variedade foi submetida ao déficit hídrico (T70). Desta forma, pode-se tratar de uma variedade que apresente maior produtividade da água em açúcar total recuperável, sob condições de déficit hídrico. Desta maneira, estas informações sugerem que esta variedade receba atenção especial nos estudos futuros envolvendo produtividade de água (em diferentes níveis de déficit), bem como, de variedades com “tolerância” à seca.

As variedades CTC2 e CTC9 (18,0 t ha<sup>-1</sup>) apresentaram RBA semelhantes, porém, com RAA de 3,5 t ha<sup>-1</sup> (16%) e 6,9 t ha<sup>-1</sup> (28%), respectivamente. Para a variedade RB92579 verificou-se RBA na ordem de 16,6 t ha<sup>-1</sup> e RAA de 9,4 t ha<sup>-1</sup> (36%), condicionada, principalmente, pela RAC (33%) sob déficit hídrico. Observaram-se RBAs próximos para as variedades SP90-3414 (16,5 t ha<sup>-1</sup>), RB855156 (17,1 t ha<sup>-1</sup>), RB925345 (16,5 t ha<sup>-1</sup>), porém, com RAAs variáveis, 3,1 t ha<sup>-1</sup> (16%), 4,6 t ha<sup>-1</sup> (21%) e 7,6 t ha<sup>-1</sup> (31%), respectivamente. Para as variedades CTC17, SP83-2847 e RB72454 observaram-se RBAs entre 15,0 e 15,9 t ha<sup>-1</sup> com RAAs de 4,9 t ha<sup>-1</sup> (25%), tanto para CTC17 como para a SP83-2847, e de 3,6 t ha<sup>-1</sup> (19%) para a RB72454. RBAs inferiores a média observada em T70, verificam-se nas variedades SP79-1011, CTC15, IACSP95-5000,

Caiana (14,5; 14,3; 13,4 e 9,3 t ha<sup>-1</sup>) e RAAs respectivos, na ordem de 3,5 t ha<sup>-1</sup> (20%), 2,7 t ha<sup>-1</sup> (16%), 2,7 t ha<sup>-1</sup> (17%) e 2,1 t ha<sup>-1</sup> (18%).

### **2.3.5 Produtividade de biomassa seca da parte aérea (Palhão e Bagaço)**

#### **2.3.5.1 Considerações gerais**

Os valores referente às produtividades de biomassa seca de palhão ( $B_{PAL}$ ) e bagaço ( $B_{BAG}$ ), em t ha<sup>-1</sup>, para as diferentes variedades de cana-de-açúcar (VAR) em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), são apresentados na Tabela 12 (experimento 1) e Tabela 13 (experimento 2). As variedades estão dispostas em ordem decrescente, de acordo com a  $B_{PAL}$  obtida em T100.

#### **2.3.5.2 Considerações sobre o experimento 1**

Sob irrigação plena (T100), verificou-se uma variação na  $B_{PAL}$ , em função da variedade, na ordem de 20,4 (CTC14) a 29,8 t ha<sup>-1</sup> (SP81-3250) e CV de 11,2%. Para a condição de déficit (T70), a variação na  $B_{PAL}$  foi de 20,1 (CTC14) a 26,5 t ha<sup>-1</sup> (SP81-3250), com CV de 8,5%. A redução média absoluta, em função do déficit hídrico, foi de apenas 2,5 t ha<sup>-1</sup> (10%), demonstrando que a  $B_{PAL}$  apresentou menor sensibilidade, em termos de redução, do que a TCH (redução de 25%) e, conseqüentemente, o RBA (redução de 30%). Estes resultados concordam com as observações de Inman-Bamber & Smith (2005), que citam uma melhoria na partição de biomassa para os colmos (TCH), proporcionada pela irrigação.

Em termos de  $B_{BAG}$ , função da TCH e do teor de fibra da cana (F), para T100 a variação observada, em função da variedade, foi na ordem de 11,5 (RB855453) a 19,7 t ha<sup>-1</sup> (CTC8) e CV de 16,7%. Para T70 observou-se variação de 10,9 (SP81-3250) a 15,2 t ha<sup>-1</sup> (CTC8) e CV de 11,0%. A redução média absoluta, em função do déficit hídrico, foi de 2,4 t ha<sup>-1</sup> (15%). Desta forma, verifica-se que a  $B_{BAG}$  também apresentou menor sensibilidade, em termos de redução, quando comparada à redução média observada na TCH, visto o incremento no teor de fibra observado em T70 (Tabela 8).

Tabela 12 - Valores médios observados para a biomassa seca do palhiço ( $B_{PAL}$ ) e biomassa seca do bagaço ( $B_{BAG}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	Biomassa do Palhiço ( $B_{PAL}$ )*			Biomassa do Bagaço ( $B_{BAG}$ )*		
	-----( $t\ ha^{-1}$ )-----		T70/T100	-----( $t\ ha^{-1}$ )-----		T70/T100
	T100	T70		T100	T70	
SP81-3250	29,8 (54,0)	26,5 (48,1)	0,89	14,2 (25,8)	10,9 (19,7)	0,77
CTC8	29,2 (53,0)	25,3 (45,9)	0,87	19,7 (35,7)	15,2 (27,6)	0,77
RB867515	26,7 (48,4)	21,5 (38,9)	0,80	18,2 (33,1)	13,5 (24,5)	0,74
CTC6	26,5 (48,0)	23,8 (43,1)	0,90	16,8 (30,4)	14,7 (26,6)	0,87
RB835054	25,0 (45,3)	21,4 (38,7)	0,86	12,6 (22,9)	11,8 (21,5)	0,94
SP89-1115	24,6 (44,5)	22,6 (41,0)	0,92	14,4 (26,1)	13,2 (23,9)	0,91
RB855453	23,9 (43,3)	22,6 (41,0)	0,95	11,5 (20,9)	11,5 (20,8)	1,00
RB855536	23,7 (42,9)	21,9 (39,6)	0,92	16,8 (30,4)	13,2 (24,0)	0,79
RB925211	23,3 (42,3)	22,0 (40,0)	0,95	14,0 (25,3)	12,2 (22,2)	0,88
CTC14	20,4 (36,9)	20,1 (36,4)	0,99	17,2 (31,3)	14,5 (26,3)	0,84
<b>Média</b>	<b>25,3 (45,9)</b>	<b>22,8 (41,3)</b>	<b>0,90</b>	<b>15,5 (28,2)</b>	<b>13,1 (23,7)</b>	<b>0,85</b>
<b>CV (%)</b>	<b>11,2</b>	<b>8,5</b>	<b>5,8</b>	<b>16,7</b>	<b>11,0</b>	<b>9,9</b>

\*Os valores foram extrapolados considerando-se a área ocupada pelas plantas na caixa ( $1,8\ m^2$ ), assim como, a área de solo da caixa ( $1,0\ m^2$ ), valores entre parênteses ( ).

Tabela 13 - Valores médios observados para a biomassa seca do palhiço ( $B_{PAL}$ ) e biomassa seca do bagaço ( $B_{BAG}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	Biomassa do Palhiço ( $B_{PAL}$ )*			Biomassa do Bagaço ( $B_{BAG}$ )*		
	-----( $t\ ha^{-1}$ )-----		T70/T100	-----( $t\ ha^{-1}$ )-----		T70/T100
	T100	T70		T100	T70	
CTC17	30,9 (56,1)	28,2 (51,0)	0,91	20,6 (37,4)	16,8 (30,4)	0,81
SP83-2847	26,4 (47,8)	26,0 (47,1)	0,99	14,4 (26,1)	15,3 (27,8)	1,06
CTC9	25,9 (46,9)	21,5 (39,0)	0,83	15,3 (27,7)	14,1 (25,5)	0,92
RB925345	25,7 (46,6)	24,5 (44,3)	0,95	17,2 (31,2)	20,1 (36,4)	1,17
RB855156	24,3 (44,0)	21,2 (38,4)	0,87	13,0 (23,5)	12,9 (23,4)	1,00
CTC2	24,2 (43,8)	25,1 (45,4)	1,04	13,7 (24,8)	12,9 (23,3)	0,94
RB92579	23,6 (42,7)	23,0 (41,6)	0,97	17,1 (31,1)	14,2 (25,7)	0,83
Caiana	22,7 (41,1)	25,0 (45,2)	1,10	10,1 (18,2)	8,0 (14,4)	0,79
CTC15	22,6 (40,9)	22,1 (40,0)	0,98	14,9 (27,0)	14,3 (25,8)	0,96
RB72454	22,4 (40,6)	22,4 (40,5)	1,00	12,2 (22,2)	11,9 (21,7)	0,98
SP90-3414	22,0 (39,9)	21,2 (38,4)	0,96	16,1 (29,2)	15,8 (28,6)	0,98
IACSP95-5000	21,1 (38,2)	20,6 (37,2)	0,97	10,3 (18,6)	11,7 (21,3)	1,14
SP79-1011	21,1 (38,2)	22,2 (40,2)	1,05	14,9 (27,1)	13,6 (24,7)	0,91
RB966928	20,9 (37,8)	20,5 (37,2)	0,98	12,9 (23,4)	13,3 (24,1)	1,03
<b>Média</b>	<b>23,8 (43,2)</b>	<b>23,1 (41,8)</b>	<b>0,97</b>	<b>14,5 (26,2)</b>	<b>13,9 (25,2)</b>	<b>0,97</b>
<b>CV (%)</b>	<b>11,5</b>	<b>9,9</b>	<b>7,1</b>	<b>19,5</b>	<b>19,8</b>	<b>11,7</b>

\*Os valores foram extrapolados considerando-se a área ocupada pelas plantas na caixa ( $1,8\ m^2$ ), assim como, a área de solo da caixa ( $1,0\ m^2$ ), valores entre parênteses ( ).

### 2.3.5.3 Considerações sobre o experimento 2

Sob irrigação plena (T100), verificou-se uma variação na  $B_{PAL}$ , em função da variedade, na ordem de 20,9 (RB966928) a 30,9 t ha<sup>-1</sup> (CTC17) e CV de 11,5%. Para a condição de déficit (T70) a variação na  $B_{PAL}$  foi de 20,5 (RB966928) a 28,2 t ha<sup>-1</sup> (CTC17) com CV de 9,9%. A redução média absoluta, em função do déficit hídrico, foi de apenas 0,7 t ha<sup>-1</sup> (3%).

Em termos de  $B_{BAG}$ , para T100, a variação observada em função da variedade foi na ordem de 10,1 (Caiana) a 20,6 (CTC17) t ha<sup>-1</sup> e CV de 16,7%. Para T70 observou-se variação de 8,0 (Caiana) a 20,1 t ha<sup>-1</sup> (RB925345) e CV de 11,0%. A redução média absoluta, em função do déficit hídrico, foi de 0,6 t ha<sup>-1</sup> (3%) devido, também, ao incremento no teor de fibra observado em T70 (Tabela 9).

## 2.3.6 Partição de energia da biomassa e energia total

### 2.3.6.1 Considerações gerais

Os valores referentes à energia disponível na biomassa seca de palhiço ( $E_{PAL}$ ), biomassa seca do bagaço ( $E_{BAG}$ ), rendimento bruto de açúcar ( $E_{RBA}$ ) e na biomassa total da parte aérea ( $E_{TOT}$ ), correspondente a soma da  $E_{PAL}$ ,  $E_{BAG}$  e  $E_{RBA}$  (MJ m<sup>-2</sup> safra<sup>-1</sup>), para as diferentes variedades de cana-de-açúcar (VAR) em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), são apresentados na Tabela 14 (experimento 1) e Tabela 15 (experimento 2). As variedades estão dispostas em ordem decrescente, de acordo com a  $E_{TOT}$  observada em T100.

As partições de energia (palhiço, bagaço e açúcar) são dependentes da produtividade de biomassa seca de palhiço ( $B_{PAL}$ ), biomassa seca de bagaço ( $B_{BAG}$ ) e do rendimento bruto de açúcar (RBA), apresentados anteriormente. Desta forma, as mesmas variações observadas nestes parâmetros de produtividade são válidas para a energia contida nestas partições. A energia total ( $E_{TOT}$ ) reflete a interação entre as partições e denota o potencial energético da biomassa da parte aérea para as diferentes variedades estudadas, tanto em condições de irrigação plena (T100), quanto para a condição de déficit hídrico (T70).



Tabela 14 - Valores médios observados para a energia na biomassa seca do palhico ( $E_{PAL}$ ), biomassa seca do bagaco ( $E_{BAG}$ ), biomassa do rendimento bruto de açucar ( $E_{RBA}$ ) e energia total da parte aérea ( $E_{TOT}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	$E_{PAL}^*$		$E_{BAG}^*$		$E_{RBA}^*$		$E_{TOT}^*$	
	$MJ\ m^{-2}\ safra^{-1}$							
	T100	T70	T100	T70	T100	T70	T100	T70
CTC8	43,9 (79,5)	38,0 (68,8)	35,9 (65,1)	27,7 (50,2)	34,5 (62,5)	25,1 (45,5)	114,3 (207,1)	90,8 (164,5)
RB867515	40,1 (72,6)	32,2 (58,4)	33,2 (60,3)	24,6 (44,7)	37,7 (68,2)	26,1 (47,3)	111,0 (201,1)	83,0 (150,4)
RB855536	35,5 (64,4)	32,8 (59,4)	30,6 (55,5)	24,1 (43,7)	43,8 (79,4)	28,2 (51,2)	109,9 (199,2)	85,1 (154,3)
CTC6	39,7 (72,0)	35,6 (64,6)	30,6 (55,4)	26,7 (48,4)	39,6 (71,9)	26,8 (48,6)	109,9 (199,2)	89,2 (161,6)
SP81-3250	44,7 (81,0)	39,8 (72,1)	25,9 (47,0)	19,8 (36,0)	31,0 (56,2)	19,1 (34,6)	101,6 (184,2)	78,7 (142,7)
RB835054	37,5 (67,9)	32,1 (58,1)	23,0 (41,7)	21,6 (39,1)	40,4 (73,2)	39,1 (70,8)	100,9 (182,8)	92,7 (168,0)
SP89-1115	36,8 (66,8)	34,0 (61,5)	26,3 (47,6)	24,0 (43,5)	36,6 (66,4)	24,6 (44,7)	99,7 (180,8)	82,6 (149,7)
CTC14	30,5 (55,3)	30,1 (54,6)	31,3 (56,7)	26,4 (47,8)	32,5 (58,8)	22,8 (41,4)	94,3 (170,8)	79,4 (143,8)
RB925211	35,0 (63,4)	33,1 (59,9)	25,4 (46,1)	22,3 (40,4)	32,8 (59,4)	21,2 (38,4)	93,2 (168,9)	76,5 (138,7)
RB855453	35,8 (64,9)	34,0 (61,5)	21,0 (38,0)	21,0 (38,0)	35,0 (63,5)	23,1 (41,9)	91,8 (166,4)	78,0 (141,4)
<b>Média</b>	<b>37,9 (68,8)</b>	<b>34,2 (61,9)</b>	<b>28,3 (51,3)</b>	<b>23,8 (43,2)</b>	<b>36,4 (65,9)</b>	<b>25,6 (46,4)</b>	<b>102,7 (186,1)</b>	<b>83,6 (151,5)</b>

\*Os valores foram extrapolados considerando-se a área ocupada pelas plantas na caixa ( $1,8\ m^2$ ), assim como, a área de solo da caixa ( $1,0\ m^2$ ), valores entre parênteses ( ).

-  $100\ MJ\ m^{-2}\ safra^{-1}$ , para safra de 365 dias, representam uma potência de  $3,17\ W\ m^{-2}$  ( $31,7\ kW\ ha^{-1}$ )

Tabela 15 - Valores médios observados para a energia na biomassa seca do palhiço ( $E_{PAL}$ ), biomassa seca do bagaço ( $E_{BAG}$ ), biomassa do rendimento bruto de açúcar ( $E_{RBA}$ ) e energia total da parte aérea ( $E_{TOT}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2) e em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	$E_{PAL}^*$		$E_{BAG}^*$		$E_{RBA}^*$		$E_{TOT}^*$	
	T100	T70	T100	T70	T100	T70	T100	T70
CTC17	46,4 (84,1)	42,2 (76,5)	37,6 (68,1)	30,6 (55,4)	32,2 (58,4)	24,4 (44,2)	116,2 (210,6)	97,2 (176,2)
RB925345	38,5 (69,8)	36,7 (66,5)	31,4 (56,8)	36,6 (66,3)	38,3 (69,3)	26,2 (47,5)	108,2 (196,0)	99,5 (180,3)
RB92579	35,4 (64,1)	34,5 (62,5)	31,2 (56,6)	25,8 (46,8)	41,4 (75,1)	26,4 (47,9)	108,0 (195,8)	86,7 (157,1)
CTC9	38,8 (70,4)	32,3 (58,6)	27,8 (50,6)	25,6 (46,4)	39,6 (71,7)	28,6 (51,9)	106,2 (192,5)	86,5 (156,8)
SP83-2847	39,5 (71,6)	39,0 (70,6)	26,3 (47,6)	27,9 (50,6)	31,6 (57,3)	23,8 (43,2)	97,4 (176,6)	90,7 (164,4)
CTC2	36,2 (65,7)	37,6 (68,1)	24,9 (45,1)	23,4 (42,5)	34,2 (62,0)	28,6 (51,8)	95,4 (172,8)	89,6 (162,4)
RB855156	36,4 (66,0)	31,8 (57,6)	23,6 (42,8)	23,5 (42,6)	34,7 (62,9)	27,3 (49,5)	94,8 (171,7)	82,6 (149,8)
SP90-3414	33,0 (59,9)	31,8 (57,6)	29,4 (53,2)	28,8 (52,2)	30,6 (55,4)	25,7 (46,6)	93,0 (168,5)	86,3 (156,4)
RB966928	31,3 (56,8)	30,8 (55,8)	23,6 (42,7)	24,2 (43,9)	35,2 (63,8)	35,9 (65,0)	90,1 (163,3)	90,9 (164,7)
CTC15	33,9 (61,4)	33,1 (60,0)	27,2 (49,3)	26,0 (47,1)	27,0 (48,9)	22,7 (41,2)	88,1 (159,6)	81,8 (148,3)
SP79-1011	31,6 (57,2)	33,2 (60,2)	27,2 (49,3)	24,9 (45,0)	28,8 (52,2)	23,1 (41,9)	87,6 (158,7)	81,2 (147,2)
RB72454	33,6 (60,9)	33,5 (60,8)	22,3 (40,4)	21,8 (39,5)	31,2 (56,5)	25,4 (46,0)	87,1 (157,8)	80,7 (146,2)
IACSP95-5000	31,6 (57,3)	30,8 (55,9)	18,7 (34,9)	21,4 (38,8)	25,6 (46,4)	21,3 (38,7)	76,0 (137,7)	73,6 (133,4)
Caiana	34,0 (61,7)	37,4 (67,8)	18,3 (33,2)	14,5 (26,3)	18,1 (32,7)	14,8 (26,7)	70,4 (127,7)	66,7 (120,8)
<b>Média</b>	<b>35,7 (64,8)</b>	<b>34,6 (62,8)</b>	<b>26,4 (47,8)</b>	<b>25,4 (45,9)</b>	<b>32,0 (58,1)</b>	<b>25,3 (45,9)</b>	<b>94,2 (170,7)</b>	<b>85,3 (154,6)</b>

\*Os valores foram extrapolados considerando-se a área ocupada pelas plantas na caixa ( $1,8 \text{ m}^2$ ), assim como, a área de solo da caixa ( $1,0 \text{ m}^2$ ), valores entre parênteses ( ).

-  $100 \text{ MJ m}^{-2} \text{ safra}^{-1}$ , para safra de 365 dias, representam uma potência de  $3,17 \text{ W m}^{-2}$  ( $31,7 \text{ kW ha}^{-1}$ )

### 2.3.6.2 Considerações sobre o experimento 1

Sob irrigação plena (T100), verificou-se uma variação na  $E_{TOT}$ , em função da variedade, na ordem de 91,8 (RB855453) a 114,3  $MJ\ m^{-2}\ safra^{-1}$  (CTC8). Para a condição de déficit (T70), a variação na  $E_{TOT}$  foi de 76,5 (RB925211) a 90,8  $MJ\ m^{-2}\ safra^{-1}$  (CTC8). A redução média, em função do déficit hídrico, foi de 19,1  $MJ\ m^{-2}\ safra^{-1}$  (18,6%), devido, principalmente, a redução no RBA, seguida pela redução na  $B_{BAG}$  e, em menor proporção, pela redução verificada na  $B_{PAL}$ .

### 2.3.6.3 Considerações sobre o experimento 2

Para o experimento 2, sob irrigação plena (T100), verificou-se uma variação na  $E_{TOT}$ , em função da variedade, na ordem de 70,4 (Caiana) a 116,2  $MJ\ m^{-2}\ safra^{-1}$  (CTC17). Para a condição de déficit (T70), a variação na  $E_{PAL}$  foi de 66,7 (Caiana) a 99,5  $MJ\ m^{-2}\ safra^{-1}$  (RB925345). A redução média, em função do déficit hídrico, foi de 9,2  $MJ\ m^{-2}\ safra^{-1}$  (9,5%), com redução média menor à observada nas variedades do experimento 1 (variedades mais exigentes em ambiente de produção).

## 2.3.7 Produtividade da água (PA)

### 2.3.7.1 Produtividade da água em biomassa fresca de colmos ( $PA_{BFC}$ )

#### 2.3.7.1.1 Considerações gerais

Os valores de produtividade da água em biomassa fresca de colmos -  $PA_{BFC}$  ( $kg\ m^{-3}$ ), para as diferentes variedades (VAR) em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), são apresentados na Tabela 16 (experimento 1) e na Tabela 17 (experimento 2). As variedades estão dispostas em ordem decrescente, de acordo com a  $PA_{BFC}$  obtida em T100.

Sob irrigação plena (T100) observou-se uma variação de 18,05 a 29,21  $kg\ m^{-3}$  na  $PA_{BFC}$ , para as variedades cultivadas em solo argiloso (experimento 1), e de 17,17 a 27,14  $kg\ m^{-3}$ , para as variedades cultivadas em solo franco-arenoso (experimento 2), ambos com coeficiente de variação (CV) considerados médios, 14,51 e 11,75%, respectivamente.

Tabela 16 - Valores médios da produtividade da água em biomassa fresca de colmos ( $PA_{BFC}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	T100 ( $PA_{BFC}$ )	T70 ( $PA_{BFC}$ )	Média ( $PA_{BFC}$ )
	----- kg.m <sup>-3</sup> ou t 100 mm.ha <sup>-1</sup> ou t ML <sup>-1</sup> -----		
CTC6	29,21 Aa	28,39 Aa	28,80 a
CTC14	29,07 Aa	28,23 Aa	28,65 a
RB867515	27,31 Aa	24,88 Aa	26,10 ab
SP81-3250	26,83 Aa	22,81 Aab	24,82 abc
SP89-1115	24,80 Aab	23,29 Aab	24,05 abc
CTC8	23,35 Aab	21,65 Aab	22,50 bc
RB855536	23,01 Aab	16,22 Bb	19,61 c
RB925211	22,22 Aab	21,94 Aab	22,08 bc
RB855453	21,78 Aab	20,54 Aab	21,16 bc
RB835054	18,05 Bb	23,53 Aab	20,79 bc
<b>Média</b>	<b>24,56 A</b>	<b>23,15 A</b>	<b>23,86</b>
<b>CV (%)</b>	<b>14,51</b>	<b>15,44</b>	<b>13,48</b>

\* valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Tabela 17 - Valores médios da produtividade da água em biomassa fresca de colmos ( $PA_{BFC}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	T100 ( $PA_{BFC}$ )	T70 ( $PA_{BFC}$ )	Média ( $PA_{BFC}$ )
	----- kg m <sup>-3</sup> ou t 100 mm.ha <sup>-1</sup> ou t ML <sup>-1</sup> -----		
RB92579	27,14 Aa	23,15 Aa	25,14 a
SP90-3414	23,16 Aab	25,42 Aa	24,29 ab
CTC9	22,47 Aab	23,31 Aa	22,89 ab
SP79-1011	22,04 Aab	23,31 Aa	22,67 ab
Caiana	22,04 Aab	20,71 Aa	21,37 ab
CTC17	21,94 Aab	21,16 Aa	21,55 ab
SP83-2847	21,45 Aab	22,90 Aa	22,17 ab
CTC2	21,25 Aab	22,78 Aa	22,02 ab
CTC15	20,98 Aab	23,06 Aa	22,02 ab
RB966928	20,77 Aab	23,04 Aa	21,90 ab
RB925345	19,81 Aab	21,16 Aa	20,49 ab
RB72454	18,91 Aab	18,37 Aa	18,64 b
RB855156	17,44 Ab	19,68 Aa	18,56 b
IACSP95-5000	17,17 Ab	21,08 Aa	19,13 b
<b>Média</b>	<b>21,18 A</b>	<b>22,08 A</b>	<b>21,63</b>
<b>CV (%)</b>	<b>11,75</b>	<b>8,19</b>	<b>8,95</b>

\* valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Sob déficit (T70), as variações observadas foram de 16,22 a 28,39 kg m<sup>-3</sup> (experimento 1) e 18,37 a 25,42 kg m<sup>-3</sup> (experimento 2), com CV de 15,44 e 8,19%, respectivamente. Desta forma, evidencia-se a importância da escolha da variedade como ferramenta de otimização da produtividade da água.

De acordo com dados da literatura, em condições de campo, os valores de PA<sub>BFC</sub> obtidos neste estudo podem ser considerados altos (valores potenciais), visto que as irrigações foram realizadas com frequência máxima de três dias, sem perdas por escoamento superficial e/ou drenagem profunda (fonte de erro). Além disso, ressalta-se novamente, o efeito do ambiente protegido, onde é esperado um aumento da temperatura diurna, causado pela alteração do balanço de ondas longas em função da cobertura plástica. Singels et al. (2005); Liu e Bull (2001), relatam sobre o aumento da eficiência na conversão da radiação fotossinteticamente ativa na cana-de-açúcar, em função do aumento da temperatura média do ar. Desta forma, torna-se difícil a comparação dos valores obtidos, nesta condição, com valores obtidos em campo. Porém, a comparação entre as variedades, na mesma condição, é de grande importância para a obtenção de informações sobre materiais (variedades) de maior eficiência na conversão de água em biomassa (produtividade da água), visando à otimização deste recurso.

Segundo Inman-Bamber et al. (1999), a cana-de-açúcar responde bem às condições irrigadas, podendo apresentar altos valores de PA<sub>BFC</sub>, atingindo até 27,5 kg m<sup>-3</sup> em experimentos de campo. Nota-se que neste caso observou-se valor máximo de 29,21 kg m<sup>-3</sup> (CTC6).

Considerando-se os valores médios dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), não foram observadas diferenças significativas na PA<sub>BFC</sub>, para ambos os experimentos (Tabelas 16 e 17), demonstrando que a redução na TCH, em termos médios, para este nível de déficit, foi próxima a redução da água aplicada.

### **2.3.7.1.2 Considerações sobre o experimento 1**

Para este experimento, verificaram-se diferenças significativas na PA<sub>BFC</sub>, entre as variedades, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, tanto sob condições de irrigação plena (T100) como em condições de déficit (T70) (Tabela 16). Em T100, destacaram-se as variedades CTC6, CTC14, RB867515, SP81-3250 (29,21; 29,07; 27,31 e 26,83 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente), onde não foram observadas diferenças significativas na PA<sub>BFC</sub>, nesta condição. Nas variedades

SP89-1115, CTC8, RB855536, RB925211 e RB855453, verificaram-se reduções nos valores de  $PA_{BFC}$  (24,80, 23,35, 23,01, 22,22 e 21,78  $kg\ m^{-3}$ , respectivamente), não apresentando diferenças significativas entre estas variedades (T100). A variedade RB835054 apresentou o menor valor de  $PA_{BFC}$  (18,05  $kg\ m^{-3}$ ), visto a provável interferência do fluxo de calor advectivo nesta variedade, discutido anteriormente.

Em condições de déficit (T70) as variedades CTC6, CTC14 e RB867515 permaneceram como os melhores valores  $PA_{BFC}$  (28,39; 28,23 e 24,88  $kg\ m^{-3}$ , respectivamente). Para as variedades RB835054, SP89-1115, SP81-3250, RB925211, CTC8 e RB855453 ( $PA_{BFC}$  entre 20,54 a 23,53  $kg\ m^{-3}$ ) não foram observadas diferenças significativas. O menor valor de  $PA_{BFC}$  em T70 foi observado na variedade RB855536 (16,22  $kg\ m^{-3}$ ). Para esta variedade, verificou-se diferença significativa na  $PA_{BFC}$  em função dos manejos de irrigação aplicados, obtendo melhor desempenho em T100 (29,5% superior). A variedade RB835054 também se verificou diferença, porém com desempenho superior em T70 (23,3%) (Tabela 16).

### 2.3.7.1.3 Considerações sobre o experimento 2

Para o experimento 2, verificaram-se diferenças significativas na  $PA_{BFC}$ , entre as variedades, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, apenas em condições de irrigação plena (T100) (Tabela 17), destacando-se a variedade RB92579 (27,14  $kg\ m^{-3}$ ). Silva (2009), trabalhando com esta variedade sob irrigada plena e nas condições do semi-árido do Submédio do Vale do São Francisco, verificou  $PA_{BFC}$  na ordem de 9,49  $kg\ m^{-3}$ , considerando-se a  $ET_c$  estimada por razão de Bowen.

Nas variedades SP90-3414, CTC9, SP79-1011, Caiana, CTC17, SP83-2847, CTC2, CTC15, RB966928, RB925345 e RB72454 não foram observadas diferenças significativas. Em termos médios absolutos, houve uma variação de 18,91 a 23,16  $kg\ m^{-3}$  na  $PA_{BFC}$ , para estas variedades. Farias et al. (2008), trabalhando com a variedade SP79-1011 nos Tabuleiros Costeiros da região norte-paraibana, verificaram máxima  $PA_{BFC}$  na ordem de 7,22  $kg\ m^{-3}$  com reposição de 100% da  $ET_c$ , demonstrando, também, a influência do ambiente de cultivo na  $PA_{BFC}$ . Estes autores, também, verificaram que não foram encontradas diferenças na  $PA_{BFC}$ , em relação à irrigação com 100% da  $ET_c$ , quando a reposição foi de 75 e 50% da  $ET_c$  (7,21 e 7,13  $kg\ m^{-3}$ ,

respectivamente). Os menores valores de  $PA_{BFC}$  foram observados nas variedades RB855156 ( $17,44 \text{ kg m}^{-3}$ ) e IACSP95-5000 ( $17,17 \text{ kg m}^{-3}$ ).

Sob déficit (T70) não foram observadas diferenças significativas entre as variedades. Em termos médios absolutos verificou-se uma variação de 18,37 a  $25,42 \text{ kg m}^{-3}$  na  $PA_{BFC}$ , nesta condição. Também, para este experimento, não foram verificadas diferenças significativas na  $PA_{BFC}$ , dentro da mesma variedade, em função dos manejos de irrigação aplicados (Tabela 17).

### 2.3.7.2 Produtividade da água em biomassa de açúcar total recuperável ( $PA_{BATR}$ )

#### 2.3.7.2.1 Considerações gerais

Os valores de produtividade da água em biomassa de ATR -  $PA_{BATR}$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ), para as diferentes variedades (VAR) em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), são apresentados na Tabela 18 (experimento 1) e na Tabela 19 (experimento 2). As variedades estão dispostas em ordem decrescente, de acordo com a  $PA_{BATR}$  obtida em T100.

Tabela 18 - Valores médios da produtividade da água em biomassa de ATR ( $PA_{BATR}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	T100 ( $PA_{BATR}$ )	T70 ( $PA_{BATR}$ )	Média ( $PA_{BATR}$ )
	----- $\text{kg m}^{-3}$ ou $\text{t } 100 \text{ mm} \cdot \text{ha}^{-1}$ ou $\text{t ML}^{-1}$ -----		
CTC6	3,53 Aa	3,12 Aab	3,32 a
CTC14	3,08 Aab	2,78 Aabc	2,93 ab
SP81-3250	3,04 Aab	2,39 Babc	2,71 ab
RB855536	3,02 Aab	1,95 Bc	2,48 b
SP89-1115	2,99 Aab	2,55 Aabc	2,77 ab
RB867515	2,98 Aab	2,69 Aabc	2,83 ab
RB855453	2,87 Aab	2,31 Abc	2,59 b
RB925211	2,59 Aab	2,26 Abc	2,42 b
RB835054	2,54 Bab	3,34 Aa	2,94 ab
CTC8	2,39 Ab	2,37 Aabc	2,38 b
<b>Média</b>	<b>2,90 A</b>	<b>2,58 B</b>	<b>2,74</b>
<b>CV (%)</b>	<b>11,28</b>	<b>16,30</b>	<b>10,53</b>

\* valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Tabela 19 - Valores médios da produtividade da água em biomassa de ATR ( $PA_{BATR}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	T100 ( $PA_{BATR}$ )	T70 ( $PA_{BATR}$ )	Média ( $PA_{BATR}$ )
	----- kg m <sup>-3</sup> ou t 100 mm.ha <sup>-1</sup> ou t ML <sup>-1</sup> -----		
RB92579	3,52 Aa	2,84 Babc	3,18 ab
CTC9	3,23 Aab	3,14 Aab	3,18 ab
CTC2	2,96 Aabc	3,21 Aab	3,08 ab
RB925345	2,92 Aabc	2,63 Abc	2,77 abc
RB966928	2,91 Babc	3,84 Aa	3,37 a
SP90-3414	2,87 Aabc	3,20 Aab	3,04 ab
SP79-1011	2,76 Aabc	2,88 Aabc	2,82 abc
RB855156	2,59 Aabc	2,99 Aabc	2,79 abc
SP83-2847	2,58 Aabc	2,57 Abc	2,57 bc
RB72454	2,57 Aabc	2,44 Abc	2,51 bc
CTC17	2,51 Aabc	2,48 Abc	2,50 bc
CTC15	2,46 Aabc	2,75 Abc	2,61 bc
IACSP95-5000	2,31 Abc	2,77 Aabc	2,54 bc
Caiana	2,15 Ac	2,04 Ac	2,09 c
<b>Média</b>	<b>2,74 A</b>	<b>2,84 A</b>	<b>2,79</b>
<b>CV (%)</b>	<b>13,26</b>	<b>15,18</b>	<b>12,52</b>

\* valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Sob irrigação plena (T100), observou-se uma variação de 3,53 a 2,39 kg m<sup>-3</sup> na  $PA_{BATR}$ , para as variedades cultivadas em solo argiloso (experimento 1), e de 3,52 a 2,15 kg m<sup>-3</sup>, para as variedades cultivadas em solo franco-arenoso (experimento 2). Em ambos os experimentos, os coeficientes de variação (CV) foram considerados médios, 11,28 e 13,26%, respectivamente. Sob déficit (T70), as variações observadas na  $PA_{BATR}$  foram de 1,95 a 3,34 kg m<sup>-3</sup> (experimento 1) e 2,04 a 3,84 kg m<sup>-3</sup> (experimento 2), com CV de 16,30 e 15,18%, respectivamente.

### 2.3.7.2.2 Considerações sobre o experimento 1

Verificaram-se diferenças significativas na  $PA_{BATR}$ , entre as variedades, tanto sob condições de irrigação plena (T100) como em condições de déficit (T70) (Tabela 18). Sob irrigação plena (T100) destacou-se a variedade CTC6 (3,53 kg m<sup>-3</sup>), seguida por um grupo de variedades onde não foram observadas diferenças significativas (CTC14, SP81-3250, RB855536, SP89-1115, RB867515, RB855453, RB925211 e RB835054), com  $PA_{BATR}$  variando entre 2,54 e



3,08 kg m<sup>-3</sup>. O menor valor de PA<sub>ATR</sub> foi observado na variedade CTC8 (2,39 kg m<sup>-3</sup>), por ter apresentado o menor valor de ATR em T100, entre as variedades estudadas.

Em condições de déficit (T70) o melhor valor de PA<sub>BATR</sub> foi observado na variedade RB835054 (3,34 kg m<sup>-3</sup>), visto que sua redução na TCH foi de apenas 4%. A variedade CTC6 manteve bom desempenho na PA<sub>BATR</sub> (3,12 kg m<sup>-3</sup>), também em T70. Nas variedades CTC14, SP81-3250, SP89-1115, RB867515 e CTC8 não foram observadas diferenças significativas na PA<sub>BATR</sub>, variando entre 2,37 e 2,78 kg m<sup>-3</sup>, seguidas pelas variedades RB925211 (2,26 kg m<sup>-3</sup>) e RB855453 (2,31 kg m<sup>-3</sup>). O menor desempenho em termos de PA<sub>BATR</sub> foi observado na variedade RB855536 (1,95 kg m<sup>-3</sup>).

Considerando-se os valores médios dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), verificou-se diferença significativa na PA<sub>BATR</sub>, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey (Tabela 18). Este comportamento ocorreu devido ao incremento de ATR observado sob condições de irrigação plena (Tabela 8), visto que a redução média na TCH (25%) foi próxima a redução da lâmina média de irrigação (24%) (Tabela 6). Desta forma, a PA<sub>BATR</sub> média para estas variedades, foi 11% superior em T100.

Para as variedades SP81-3250 e RB855536 observaram-se, também, diferenças significativas na PA<sub>BATR</sub> em função do manejo de irrigação aplicado, ambas com melhor desempenho em T100 (21,4 e 35,4%, respectivamente). Já a variedade RB835054 também apresentou diferença, porém, com desempenho superior em T70 (23,9%) (Tabela 18) (provável fluxo de calor advectivo em T100).

### **2.3.7.2.3 Considerações sobre o experimento 2**

Observaram-se diferenças significativas na PA<sub>BATR</sub>, entre as variedades, tanto sob condições de irrigação plena (T100) como em condições de déficit (T70) (Tabela 19). Sob irrigação plena (T100), destacou-se a variedade RB92579 (3,52 kg m<sup>-3</sup>), com valor superior ao verificado por Silva (2009) (1,22 kg m<sup>-3</sup>), em irrigação por sulcos e nas condições do semi-árido do Submédio do Vale do São Francisco (influência do ambiente). A variedade CTC9 também apresentou elevado desempenho na PA<sub>BATR</sub> (3,23 kg m<sup>-3</sup>). Para um grupo de variedades (CTC2, RB925345, RB966928, SP90-3414, SP79-1011, RB855156, SP83-2847, RB72454, CTC17 e CTC15) não foram observadas diferenças significativas em T100, com PA<sub>BATR</sub> variando entre

2,46 e 2,96 kg m<sup>-3</sup>. Para a variedade IACSP95-5000 observou-se PA<sub>BATR</sub> na ordem de 2,31 kg m<sup>-3</sup>, seguida pela Caiana (2,15 kg m<sup>-3</sup>), com o menor valor de PA<sub>BATR</sub>, visto sua baixa concentração de ATR (Tabela 9).

Nas condições de déficit hídrico (T70), destacou-se a variedade RB966928 com PA<sub>BATR</sub> de 3,84 kg m<sup>-3</sup> (máxima observada). Esta variedade apresentou redução na TCH de apenas 14% (Tabela 7) e incremento de ATR em T70 na ordem de 26,4 kg t<sup>-1</sup> (Tabela 9). Para as variedades CTC2, SP90-3414 e CTC9 não foram observadas diferenças significativas, ambas com valores elevados de PA<sub>BATR</sub> (3,21; 3,20 e 3,14 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente), seguidas por IACSP95-5000, RB92579, SP79-1011 e RB855156 (entre 2,77 a 2,99 kg m<sup>-3</sup>). Desempenhos inferiores na PA<sub>BATR</sub> em T70 foram verificados nas variedades RB925345, SP83-2847, RB72454, CTC17 e CTC15 (2,44 a 2,75 kg m<sup>-3</sup>). Caiana manteve-se com o menor valor na PA<sub>BATR</sub> (2,04 kg m<sup>-3</sup>).

Considerando-se os valores médios dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), não se observou diferença significativa na PA<sub>BATR</sub>, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey (Tabela 19). Neste caso, a redução média na TCH (20%) (Tabela 7), assim como a redução média do RBA (20%) (Tabela 9) foi próxima a redução média da lâmina de irrigação aplicada (23%) (Tabela 7), visto que os valores médios de ATR não apresentaram diferenças significativas em função dos manejos de irrigação aplicados (Tabela 9).

Porém, considerando-se as variedades RB92579 e RB966928, observaram-se diferenças significativas na PA<sub>BATR</sub> em função dos manejos de irrigação aplicados. RB92579 mostrou-se mais eficiente em T100 (19,3%), enquanto RB966928 em T70 (24,2%) (Tabela 19).

### **2.3.7.3 Produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea (PA<sub>BTPA</sub>)**

#### **2.3.7.3.1 Considerações gerais**

Os valores de produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea - PA<sub>BTPA</sub> (kg m<sup>-3</sup>), para as diferentes variedades (VAR) em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), são apresentados na Tabela 20 (experimento 1) e na Tabela 21 (experimento 2). As variedades estão dispostas em ordem decrescente, de acordo com a PA<sub>BTPA</sub> obtida em T100.

Tabela 20 - Valores médios da produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea (PA<sub>BTPA</sub>), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	T100 (PA <sub>BTPA</sub> )	T70 (PA <sub>BTPA</sub> )	Média (PA <sub>BTPA</sub> )
	----- kg m <sup>-3</sup> ou t 100 mm.ha <sup>-1</sup> ou t ML <sup>-1</sup> -----		
SP81-3250	10,97 Aa	11,94 Aa	11,45 a
CTC6	10,60 Aab	11,23 Aab	10,91 ab
CTC14	9,75 Aab	10,62 Aab	10,19 abc
RB867515	9,71 Aab	9,49 Aabc	9,60 abcd
SP89-1115	9,11 Aabc	9,50 Aabc	9,30 bcd
CTC8	8,76 Aabc	9,27 Aabc	9,02 bcd
RB855536	8,42 Aabc	7,55 Ac	7,98 d
RB855453	8,12 Abc	8,51 Abc	8,32 cd
RB925211	8,11 Abc	9,08 Abc	8,60 cd
RB835054	6,98 Bc	8,75 Abc	7,86 d
<b>Média</b>	<b>9,05 B</b>	<b>9,60 A</b>	<b>9,32</b>
<b>CV (%)</b>	<b>13,54</b>	<b>13,75</b>	<b>13,11</b>

\* valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Tabela 21 - Valores médios da produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea (PA<sub>BTPA</sub>), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 2), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	T100 (PA <sub>BTPA</sub> )	T70 (PA <sub>BTPA</sub> )	Média (PA <sub>BTPA</sub> )
	----- kg m <sup>-3</sup> ou t 100 mm.ha <sup>-1</sup> ou t ML <sup>-1</sup> -----		
RB92579	10,10 Aa	10,31 Aa	10,21 ab
SP90-3414	9,85 Ba	11,79 Aa	10,82 a
CTC9	9,55 Aa	10,37 Aa	9,96 ab
Caiana	9,42 Aa	10,87 Aa	10,15 ab
SP79-1011	9,27 Ba	10,91 Aa	10,09 ab
CTC17	9,16 Ba	10,73 Aa	9,95 ab
CTC2	9,11 Ba	10,95 Aa	10,03 ab
CTC15	9,03 Ba	10,77 Aa	9,90 ab
RB925345	8,99 Ba	10,82 Aa	9,91 ab
SP83-2847	8,88 Ba	10,69 Aa	9,79 ab
RB966928	8,28 Ba	10,62 Aa	9,45 ab
RB855156	8,21 Ba	9,95 Aa	9,08 ab
RB72454	8,04 Aa	9,24 Aa	8,64 b
IACSP95-5000	7,67 Ba	10,37 Aa	9,02 ab
<b>Média</b>	<b>8,97 B</b>	<b>10,60 A</b>	<b>9,78</b>
<b>CV (%)</b>	<b>7,81</b>	<b>5,41</b>	<b>5,75</b>

\* valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Sob irrigação plena (T100) observou-se uma variação na  $PA_{BTPA}$  de 6,98 a 10,97  $kg\ m^{-3}$ , para as variedades cultivadas em solo argiloso (experimento 1), e de 7,67 a 10,10  $kg\ m^{-3}$  para as variedades cultivadas em solo franco-arenoso (experimento 2), e coeficientes de variação (CV) na ordem de 13,54 e 7,81%, respectivamente. Sob déficit (T70), as variações na  $PA_{BTPA}$  foram de 7,55 a 11,94  $kg\ m^{-3}$  (experimento 1) e 9,24 a 11,79  $kg\ m^{-3}$  (experimento 2), com CV de 13,75 e 10,60%, respectivamente. Não foram encontrados, na literatura, estudos determinando  $PA_{BTPA}$  na cultura da cana-de-açúcar.

Considerando-se os valores médios dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), observaram-se diferenças significativas na  $PA_{BTPA}$ , para ambos os experimentos (Tabelas 20 e 21). Os maiores valores de  $PA_{BTPA}$  foram verificados em condições de déficit (T70), pois a redução média da biomassa de palhiço ( $B_{PAL}$ ) (10 e 3%, para os experimentos 1 e 2, respectivamente), assim como a redução média da biomassa de bagaço ( $B_{BAG}$ ) (15 e 3%), foram inferiores a redução média das lâminas aplicadas (24 e 23%), bem como a redução média da TCH (25 e 20%). Verifica-se também, que as reduções médias, em função dos manejos (T100 e T70), são sempre menores nas variedades do experimento 2 (variedades indicadas para ambientes de menor aptidão), justificando tratar-se de materiais com maior “tolerância” a condições adversas, tais como o déficit hídrico (T70).

### **2.3.7.3.2 Considerações sobre o experimento 1**

Observaram-se diferenças significativas na  $PA_{BTPA}$ , entre as variedades, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, tanto sob condições de irrigação plena (T100) como em condições de déficit (T70) (Tabela 20). Em T100, destacou-se a variedade SP81-3250 com  $PA_{BTPA}$  na ordem de 10,97  $kg\ m^{-3}$ , seguida pelas variedades CTC6, CTC14 e RB867515 (10,60; 9,75 e 9,71  $kg\ m^{-3}$ ). Para as variedades SP89-1115, CTC8 e RB855536 não foram observadas diferenças significativas, com  $PA_{BTPA}$  respectivas, na ordem de 9,11; 8,76 e 8,42  $kg\ m^{-3}$ . As variedades RB855453 e RB925211 apresentaram desempenhos semelhantes (8,12 e 8,11  $kg\ m^{-3}$ ). O menor valor de  $PA_{BTPA}$ , para este experimento, foi verificado na variedade RB835054 (6,98  $kg\ m^{-3}$ ). Para esta variedade, observou-se diferença significativa na  $PA_{BTPA}$ , a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, em função dos manejos de irrigação aplicados (calor advectivo em T100).

Sob déficit hídrico (T70), o maior valor de  $PA_{BTPA}$  manteve-se para a variedade SP81-3250, seguida pelas variedades CTC6 e CTC14 (11,23 e 10,62  $kg\ m^{-3}$ , respectivamente). Para as

variedades RB867515, SP89-1115 e CTC8 não foram observadas diferenças significativas na  $PA_{BTPA}$ , variando entre 9,27 e 9,50  $kg\ m^{-3}$ . Nas variedades RB855453, RB925211 e RB835054 os valores de  $PA_{BTPA}$  observados variaram de 8,51 a 9,08  $kg\ m^{-3}$ . O menor valor de  $PA_{BTPA}$ , nesta condição, foi verificado na variedade RB855536 (7,55  $kg\ m^{-3}$ ). Como visto anteriormente, para a média dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), observou-se diferença significativa na  $PA_{BTPA}$ . Porém, analisando-se as variedades individualmente, esta diferença só foi verificada para a RB835054, sendo a  $PA_{BTPA}$  22,2% superior em T70 (Tabela 20).

### **2.3.7.3.3 Considerações sobre o experimento 2**

Para este experimento, não foram observadas diferenças significativas na  $PA_{BTPA}$ , entre as variedades, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, tanto sob condições de irrigação plena (T100) como em condições de déficit (T70). Em termos médios absolutos, houve uma variação de 7,67 a 10,10  $kg\ m^{-3}$  (T100) e 9,24 a 11,79  $kg\ m^{-3}$  (T70) (Tabela 21).

Já, analisando-se as variedades individualmente, observaram-se diferenças significativas na  $PA_{BTPA}$  em função dos manejos de irrigação aplicados, para a maioria das variedades estudadas. Em termos médios a  $PA_{BTPA}$  em T70 foi 15,4% superior. Na variedade SP90-3414 foi observado o maior valor de  $PA_{BTPA}$  (11,97  $kg\ m^{-3}$ ), com incremento na ordem de 16,5% em T70. Para a variedade IACSP95-5000 verificou-se incremento de 26% (T70) na  $PA_{BTPA}$  (10,37  $kg\ m^{-3}$ ). Na variedade RB966928 também foi observado um incremento significativo (22%), chegando a 10,62  $kg\ m^{-3}$ . Para as variedades SP79-1011, CTC17, CTC2, CTC15, RB925345, SP83-2847 e RB855156 verificaram-se  $PA_{BTPA}$  variando entre 9,95 a 10,95  $kg\ m^{-3}$  e incrementos entre 15 e 17%, sob déficit hídrico (T70). Para as variedades RB92579, CTC9, Caiana e RB72454 não foram observados diferenças significativas em função dos manejos de irrigação aplicados (Tabela 21).

### **2.3.7.4 Produtividade da água em energia total da parte aérea ( $PA_{ET}$ )**

#### **2.3.7.4.1 Considerações gerais**

Os valores médios de produtividade da água em energia total da parte aérea -  $PA_{ET}$  (MJ  $m^{-3}$ ), para as diferentes variedades (VAR) em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e

T70), são apresentados na Tabela 22 (experimento 1) e na Tabela 23 (experimento 2). As variedades estão dispostas em ordem decrescente, de acordo com a  $PA_{ET}$  obtida em T100.

Tabela 22 - Valores médios da produtividade da água em energia total da parte aérea ( $PA_{ET}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura argilosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	T100 ( $PA_{ET}$ )	T70 ( $PA_{ET}$ )	Média ( $PA_{ET}$ )
	----- MJ m <sup>-3</sup> -----		
SP81-3250	159,54 Aa	174,65 Aa	167,10 a
CTC6	154,21 Aab	163,69 Aab	158,95 ab
CTC14	140,76 Aabc	154,60 Aab	147,68 abc
RB867515	140,01 Aabc	138,67 Aabc	139,34 abcd
SP89-1115	131,79 Aabc	137,92 Aabc	134,85 bcd
CTC8	127,49 Aabc	135,57 Aabc	131,53 bcd
RB855536	121,87 Aabc	110,63 Ac	116,25 d
RB925211	118,03 Abc	132,89 Abc	125,46 cd
RB855453	117,28 Abc	124,53 Abc	120,91 cd
RB835054	101,17 Bc	126,03 Abc	113,60 d
<b>Média</b>	<b>131,21 B</b>	<b>139,92 A</b>	<b>135,57</b>
<b>CV (%)</b>	<b>13,61</b>	<b>13,78</b>	<b>13,22</b>

\* valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Sob irrigação plena (T100) observou-se uma variação na  $PA_{ET}$  na ordem de 101,17 a 159,54 MJ m<sup>-3</sup> (CV de 13,61%) para as variedades cultivadas em solo argiloso (experimento 1), e de 110,22 a 145,45 MJ m<sup>-3</sup> (CV de 8,43%), para as variedades cultivadas em solo franco-arenoso (experimento 2). Sob déficit (T70), as variações observadas na  $PA_{ET}$  foram de 110,63 a 174,65 MJ m<sup>-3</sup> (experimento 1) e 134,07 a 172,67 MJ m<sup>-3</sup> (experimento 2), com CV de 13,78 e 5,61%, respectivamente. Não foram encontrados, na literatura, estudos determinando a  $PA_{ET}$  na cultura da cana-de-açúcar.

Considerando-se os valores médios dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), observaram-se diferenças significativas na  $PA_{ET}$ , para ambos os experimentos (Tabelas 22 e 23). Os maiores valores de  $PA_{ET}$  foram verificados em condições de déficit (T70), pelos mesmos fatores, verificados anteriormente na  $PA_{BTPA}$  (biomassa de bagaço e palhiço).

Tabela 23 - Valores médios da produtividade da água em energia total da parte aérea ( $PA_{ET}$ ), para as diferentes variedades (VAR) cultivadas em solo de textura franco-arenosa (experimento 1), em função dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), Piracicaba - SP, 2010/2011

Variedades (VAR)	T100 ( $PA_{ET}$ )	T70 ( $PA_{ET}$ )	Média ( $PA_{ET}$ )
	----- MJ m <sup>-3</sup> -----		
CTC17	145,45 Aa	158,16 Aab	151,81 ab
RB92579	145,10 Aa	149,28 Aab	147,19 ab
SP90-3414	143,17 Ba	172,67 Aa	157,92 a
CTC9	138,72 Aa	151,64 Aab	145,18 ab
Caiana	134,25 Ba	156,42 Aab	145,34 ab
SP79-1011	133,38 Ba	158,96 Aab	146,17 ab
CTC2	131,49 Ba	159,91 Aab	145,70 ab
RB925345	131,44 Ba	159,45 Aab	145,45 ab
CTC15	130,61 Ba	157,81 Aab	144,21 ab
SP83-2847	127,10 Ba	155,38 Aab	141,24 ab
RB855156	119,86 Ba	145,67 Aab	132,77 ab
RB966928	119,00 Ba	154,93 Aab	136,96 ab
RB72454	115,83 Aa	134,07 Ab	124,95 b
IACSP95-5000	110,22 Ba	150,79 Aab	130,51 b
<b>Média</b>	<b>130,40 B</b>	<b>154,65 A</b>	<b>142,53</b>
<b>CV (%)</b>	<b>8,43</b>	<b>5,61</b>	<b>6,08</b>

\* valores seguidos pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

#### 2.3.7.4.2 Considerações sobre o experimento 1

Observaram-se diferenças significativas na  $PA_{ET}$ , entre as variedades, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, tanto sob condições de irrigação plena (T100) como em condições de déficit (T70) (Tabela 22). Em T100, o maior valor de  $PA_{ET}$  foi verificado na variedade SP81-3250 (159,54 MJ m<sup>-3</sup>), seguida pela CTC6 (154,21 MJ m<sup>-3</sup>). Valores intermediários na  $PA_{ET}$  (121,87 a 140,76 MJ m<sup>-3</sup>) foram verificados para as variedades CTC14, RB867515, SP89-1115, CTC8 e RB855536, onde não se observaram diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. As variedades RB925211 e RB855453 apresentaram desempenho semelhante, com  $PA_{ET}$  na ordem de 118,03 e 117,28 MJ m<sup>-3</sup>. O menor valor de  $PA_{ET}$ , para a condição de T100, foi verificado na variedade RB835054 (101,17 MJ m<sup>-3</sup>).

Sob déficit hídrico (T70), o maior valor de  $PA_{ET}$  (174,65 MJ m<sup>-3</sup>), também foi verificado na variedade SP81-3250, assim como visto anteriormente no desempenho da  $PA_{BTPA}$ . Em seguida,

observaram-se as variedades CTC6 e CTC14, com  $PA_{ET}$  na ordem de 163,69 e 154,60  $MJ m^{-3}$ , respectivamente. Valores intermediários de  $PA_{ET}$  foram verificados nas variedades RB867515, SP89-1115 e CTC8, variando entre 135,57 e 138,67  $MJ m^{-3}$ , seguidas por RB925211 (132,89  $MJ m^{-3}$ ), RB855453 (124,53  $MJ m^{-3}$ ) e RB835054 (126,03  $MJ m^{-3}$ ). O menor valor de  $PA_{ET}$  foi observado na variedade RB855536 (110,63  $MJ m^{-3}$ ), seguindo o comportamento observado na  $PA_{BTPA}$ .

#### 2.3.7.4.3 Considerações sobre o experimento 2

Para as condições de irrigação plena (T100), não foram observadas diferenças significativas na  $PA_{ET}$ , a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A variação observada foi na ordem de 110,22 a 145,45  $MJ m^{-3}$ .

Sob déficit hídrico (T70), o maior valor na  $PA_{ET}$  foi observado na variedade SP90-3414 (172,67  $MJ m^{-3}$ ). Para um grupo de variedades (CTC17, RB92579, CTC9, Caiana, SP79-1011, CTC2, RB925345, CTC15, SP83-2847, RB855156, RB966928 e IACSP95-5000), não foram verificadas diferenças significativas na  $PA_{ET}$ , variando entre 145,67 a 159,91  $MJ m^{-3}$ . O menor valor de  $PA_{ET}$ , nesta condição (T70), foi observado na variedade RB72454, devido ao baixo valor também observado na  $PA_{BFC}$ .

Nas variedades SP90-3414, Caiana, SP79-1011, CTC2, RB925345, CTC15, SP83-2847, RB855156, RB966928 e IACSP95-5000, foram observadas diferenças significativas na  $PA_{ET}$  em função dos manejos (T100 e T70), todas com melhor desempenho na  $PA_{ET}$  em T70, visto os maiores valores observados, também, na  $PA_{BTPA}$  nesta condição. Para as variedades CTC17, RB92579, CTC9 e RB72454 não foram verificadas diferenças significativas na  $PA_{ET}$  em função dos manejos de irrigação aplicados (Tabela 23).





### 3 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e com base nas condições onde o estudo foi realizado (ambiente protegido), considerando-se a intensidade dos manejos de irrigação aplicados (frequência de irrigação), controle da fertilidade (fertirrigações), bem como do controle de pragas e doenças, pode-se concluir que:

- Os valores da produtividade da água em biomassa fresca de colmos ( $PA_{BFC}$ ) variaram entre 16,22 e 29,21 kg m<sup>-3</sup>, destacando-se as variedades CTC6, CTC14, RB867515, SP81-3250 e RB92579, em condições de irrigação plena (T100), e as variedades CTC6, CTC14, RB867515 e SP90-3414, sob irrigação com déficit (T70), durante a fase de crescimento dos colmos. Considerando-se a média dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70) não foram verificadas diferenças significativas na  $PA_{BFC}$ .
- Para os valores da produtividade da água em biomassa de açúcar total recuperável ( $PA_{BATR}$ ), observou-se variação entre 1,95 e 3,84 kg m<sup>-3</sup>, destacando-se as variedades CTC6 e RB92579, em irrigação plena (T100), e as variedades RB835054 e RB966928, sob déficit (T70). Considerando-se a média dos manejos de irrigação aplicados (T100 e T70), apenas as variedades do experimento 1 (mais exigentes em ambiente de produção) apresentaram diferenças significativas na  $PA_{BATR}$ , com menores valores em T70 (redução média do ATR).
- Os valores da produtividade da água em biomassa seca total da parte aérea ( $PA_{BTPA}$ ) variaram entre 6,98 e 11,94 kg m<sup>-3</sup>, destacando-se as variedades SP81-3250 e RB92579, sob irrigação plena (T100), e as variedades SP81-3250 e SP90-3414, em irrigação sob déficit (T70), durante a fase de crescimento dos colmos. Em termos médios, a  $PA_{BTPA}$  em T70 foi maior que na condição de T100.
- Para a produtividade da água em energia total da parte aérea ( $PA_{ET}$ ), observaram-se valores variando entre 101,17 e 174,65 MJ m<sup>-3</sup>, destacando-se as variedades SP81-3250, RB92579 e CTC17, nas condições de irrigação plena (T100), e as variedades SP81-3250 e SP90-3414, em irrigação sob déficit (T70).
- Os valores para as produtividades da água observados, de acordo com as condições de cultivo e condução dos experimentos, sugerem valores máximos potenciais atingíveis,

para as condições de campo, devendo-se considerar a eficiência produtiva nesta condição.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, D. **Crop evapotranspiration: Guides for computing crop water requirements** Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO; Rome, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.)
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; DUARTE, J.A.L.; MOTA, P.R.D.; MOURA, J. F. L.; RIBEIRO, V. Q. Níveis de irrigação e fertirrigação por gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2009, Juazeiro/Petrolina. **Anais...** Juazeiro/Petrolina, 2009. 1CD-ROM.
- ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico.** Piracicaba, 2002. 272p.
- AYARS, J.E.; PHENE, C. J.; HUTMACHER, R.B.; DAVIS, K.R.; SCHONEMAN, R.A.; VAIL, S.S.; MEAD, R.M. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years research at the Water Management Research Laboratory. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 42, p. 1-27, 1999.
- AZEVEDO, H.M. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba.** 2002. 112p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.
- BOS, M.G.; MURRAY-RUST, D.H.; MERREY, D.J.; JOHNSON, H.G.; SNELLEN, W.B. Methodologies for assessing performance of irrigation and drainage management. **Irrigation and Drainage Systems**, New York, v. 5, p. 231-261, 1994.
- CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 31-64.
- CARRETERO, M.V. **Utilização do tanque de evaporação classe “A” para controle da irrigação por gotejamento em soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).** 1982. 86p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, janeiro/2011.** Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, 2011. 19p.
- CONCEIÇÃO, M.A.F.; MARIN, F.R. Efeito de variáveis meteorológicas sobre a evapotranspiração de referência em uma região de clima tropical úmido do Brasil. In: REUNIÓN ARGENTINA Y LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGÍA, 10., 2004. Mar del Plata. **Anais...** Mar del Plata: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2004. 27 p.
- CONSECANA. **Manual de Instruções.** Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. 5.ed. Piracicaba, 2006. 112p.

CORREA NETO, V. Geração de energia elétrica com biomassa da cana-de-açúcar. In: TOLMASQUIM, M.T. **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: COPPE: CENERGIA, 2004. cap. 1 p.23-111.

DINAR, A. Economic factors and opportunities as determinants of water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, New York, v. 14, p. 47-52, 1993.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 197p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, p. 191-192, 2000.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H.R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 494-506, 2008.

FERREIRA, D.F. **Sistema para análise de variância para dados balanceados (SISVAR)**. Lavras: UFLA; 1999. 92 p.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GOMES, M.C.R. **Efeito da irrigação suplementar na produtividade da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes**. 1999. 51p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 1999.

HOWELL, T.A.; YAZAR, A.; SCHENEIDER, A.D.; DUSEK, D.A.; COPELAND, K.S. Yield and water use efficiency of corn in response to LEPA irrigation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.6, p. 1737-1747, 1995.

INMAN-BAMBER, N.G.; ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W.; PACE, R.; SPILLMAN, M.F. Boosting yields with limited irrigation water. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, Townsville, v. 21, p. 203-211, 1999.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.

INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p. 107-122, 2004.

INMAN-BAMBER, N.G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 41-51, 1994.

KINGSTON, G. Benchmarking yield of sugarcane from estimates of water use. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, Brisbane, v. 16, p. 201-209, 1994.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**: Ecophysiology and stress physiology of functional groups. 3th ed. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 495p.

LEHNINGER, A.L. **Bioquímica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 262p.

LIU, D.L.; BULL, D.A. Simulation of biomass and sugar accumulation in sugarcane using a process-based model. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 144, p. 181-211, 2001.

MARIANI FILHO, L. **Utilização da palha de cana-de-açúcar para aumento da capacidade energética de plantas de utilidades**. 2006. 46p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MAULE, R.F.; MAZZA, A.J.; MARTHAR JÚNIOR, G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Academic Press, 1999. 474p.

PEREIRA, L.S.; OEWIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 57, p. 175-206, 2002.

PERRY, C.J. **Quantification and measurement of a minimum set of indicators of the performance of irrigation systems**. Sri Lanka: International Water Management Institute, 1996. 27p.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico. 1997. p. 237-239. (Boletim Técnico, 100).

ROBERTSON, M.J.; INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C. Opportunities for optimizing use of limited water by the sugarcane crop. In: KEATING, B.A.; WILSON, J.R. (Ed.). **Intensive sugarcane production: Meeting the Challenges Beyond 2000**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 287-304,

ROBERTSON, M.J.; INMAN-BAMBER, N.G.; MUCHOW, R.C.; WOOD, A.W. Physiological analysis of early season deficit and sugarcane productivity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 64, p. 211-227, 1999.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C. Future research challenges for efficient crop water use in sugarcane production. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, Brisbane, v. 16, p. 193-200, 1994.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargil, v. 1, p. 373-431, 1987.

SILVA, M.B.; MORAIS, A.S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008. 9p.

SILVA, T.G.F. **Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no Submédio do Vale do São Francisco**. 2009. 176p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SINGELS, A.; DONALDSON, R.A.; SMIT, M.A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 291-201, 2005.

SINGELS, A.; SMIT, M.A.; REDSHAW, K.A.; DONALDSON, R.A. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 249-260, 2005.

SINGELS, A.; SMIT, M.A. The effect of row spacing on an irrigated plant crop of sugarcane cultivar NCo376. **Proceedings of the South African Sugar Technology Association**, Durban, v. 76, p. 94-105, 2002.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOUZA, E.F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J.A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-42, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3rd ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TOLMASQUIM, M.T. **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: COPPE: CENERGIA, 2004. 487 p.

UNICA. **Produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol do Brasil**. União da Indústria de cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n. 44, p. 892-898, 1980.

WIEDENFELD, R.P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugar cane yield and quality. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 43, p. 101-108, 1995.

ZHANG, H.; OWEIS, T. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 38, p. 195-211, 1999.

ZHOU, M.M.; SINGELS, A.; SAVAGE, M.J. Physiological parameters for modeling differences in canopy development between sugarcane cultivars. **Proceedings of the South African Sugar Technology Association**, Durban, v. 77, p. 610-621, 2003.