

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**

**Entendendo o crescimento e produção da cana de açúcar:
avaliação do modelo Mosaic**

Carlos Suguitani

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia**

**Piracicaba
2006**

Carlos Suguitani
Engenheiro Agrônomo

**Entendendo o crescimento e produção da cana de açúcar:
avaliação do modelo Mosaic**

Orientador:
Prof. Dr. **MARCOS SILVEIRA BERNARDES**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2006

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Suguitani, Carlos

Entendendo o crescimento e produção da cana de açúcar: avaliação do modelo
Moscas / Carlos Suguitani. - - Piracicaba, 2006.
60 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Cana-de-açúcar 2. Crescimento vegetal 3. Fenologia 4. Fisiologia vegetal
5. Irrigação 6. Perfilhação 7. Simulação (Estatística) I. Título

CDD 633.61

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

A minha mãe Shizuka que com muita dedicação,
trabalho e paciência sempre me auxiliou durante
minha caminhada até aqui.

A meu pai Takeo (in memoriam)

E aos meus avós Kunio e Katayo e aos meus irmãos Nilton,
Naoki e Seiko pelo apoio.

DEDICO

À Renata pelo carinho, entusiasmo e palavras de conforto

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcos Bernardes pela orientação, dedicação, companheirismo, ensinamentos e estímulo à realização da presente pesquisa.

Ao Centro de Tecnologia Canavieira pelo apoio técnico e por ter permitido a realização deste trabalho na estação experimental de Piracicaba.

Ao Prof. Dr. Sizuo Matsuoka pelo incentivo e amizade.

Aos amigos do Centro de Tecnologia Canavieira de Jaú e Piracicaba que me auxiliaram nas diferentes etapas do trabalho e me deram todo apoio para elaborar minha tese.

Ao Clarete e ao Bressiani por sempre disponibilizar mão-de-obra para realizar as avaliações.

A secretária Eliete que auxiliou na compilação dos dados obtidos no ensaio.

A secretária Luciane por me auxiliar na parte burocrática da pós-graduação.

A bibliotecária Eliana por sempre me auxiliar na formatação e correção da tese.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 DESENVOLVIMENTO	13
2.1 Simulação ou modelagem matemática	13
2.2 Modelo Mosicas	14
2.3 Fenologia da cana-de-açúcar	16
2.3.1. Perfilhamento	16
2.3.2. Área foliar	18
2.3.3. Fotossíntese	21
2.3.4. Crescimento e acúmulo de fitomassa	23
2.4 Material e métodos	27
2.4.1 Área experimental	27
2.4.2 Dados climáticos	27
2.4.3 Variedades	29
2.4.4 Delineamento experimental	29
2.4.5 Avaliações	30
2.4.6 Análises estatísticas	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1 Condição climática	32
3.2 Altura de plantas	32
3.3 Perfilhamento	35
3.4 Dinâmica foliar	37
3.5 Fitomassa da parte aérea	42
3.6 Parâmetros de calibração	49
4 CONCLUSÕES	53

REFERÊNCIAS.....54

RESUMO

Entendendo o crescimento e produção da cana de açúcar: avaliação do modelo Mosaic

Existem inúmeros modelos de simulação de crescimento da cana-de-açúcar desenvolvidos no Brasil, mas o uso dos mesmos não é uma rotina na agroindústria canavieira. Países como a França, África do Sul e Austrália desenvolveram modelos associados a softwares que são utilizadas com sucesso por proprietários de canaviais e pelas usinas a eles associadas. O objetivo do trabalho foi avaliar quatro variedades: R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847, em condições brasileiras utilizando o Mosaic, desenvolvido pelo Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement como modelo de crescimento. A variedade NCo376, por suas características genéticas, foi a que apresentou o maior perfilhamento, superior ao das demais variedades. Em relação ao modelo Mosaic, o mesmo apresentou excelentes resultados, com valores simulados para massa seca da parte aérea, massa de colmos, produtividade, índice de área foliar e altura semelhantes aos observados no campo, indicando ter um bom potencial de uso no entendimento do processo de crescimento da cana-de-açúcar em condições brasileiras.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, crescimento vegetal, fenologia, fisiologia vegetal, irrigação, perfilhação, simulação

ABSTRACT

Understanding the growth and yield of sugarcane: evaluating the Mosaic model

There are many sugarcane growth simulation models developed in Brazil, but their application is not usual in the sugarcane industry. Countries like France, South Africa and Australia developed models using computer softwares with successful application by sugarcane farmers and their associated mills. The aim of this research was to evaluate four varieties (R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847) under Brazilian conditions using Mosaic, a growth simulation model developed by Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. The NCo376 variety, because its genetic characteristics, presented the greatest number of tillers, superior than the others varieties. The Mosaic simulated results, for total shoot dry weight, stalks biomass, yield, leaf area index and height had good correlation with the observed values. The Mosaic model has a good potential for use in research for the understanding of sugarcane growth under Brazilian conditions.

Keywords: sugarcane, growth, phenology, physiology, irrigation, tillering, simulation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama relacional do Mosaicas	15
Figura 2 – Chuva, irrigação, armazenamento hídrico do solo e temperatura média	32
Figura 3 – Altura, em cm, da variedade R570 nas diferentes épocas de avaliação	33
Figura 4 – Altura, em cm, da variedade RB72454 nas diferentes épocas de avaliação.	34
Figura 5 – Altura, em cm, da variedade NCo376 nas diferentes épocas de avaliação ..	34
Figura 6 – Altura, em cm, da variedade SP83-2847 na área irrigada e não irrigada.....	35
Figura 7 – Perfilamento das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área irrigada observado no primeiro ano após plantio.....	36
Figura 8 – Perfilamento das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área não irrigada	36
Figura 9 – Folhas novas por dia das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área irrigada	37
Figura 10 – Folhas novas por dia das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83- 2847 na área não irrigada.....	38
Figura 11 – Número de folhas verdes das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83- 2847 na área irrigada	39
Figura 12 – Número de folhas das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área não irrigada	39
Figura 13 – Índice de área foliar simulada e observada, na área irrigada e não irrigada, para variedade R570	40
Figura 14 – Índice de área foliar simulada e observada, na área irrigada e não irrigada, para variedade RB72454.....	40
Figura 15 – Índice de área foliar simulada e observada, na área irrigada e não irrigada, para variedade NCo376 e os valores das regressões para os dados obtidos e simulados	41
Figura 16 – Índice de área foliar simulada e observada para variedade SP83-2847 na área irrigada e não irrigada.....	41
Figura 17 – Massa seca de colmos simulada e observada para variedade R570 com e sem irrigação	43

Figura 18 – Massa seca de colmos simulada e observada para variedade RB72454 com e sem irrigação	43
Figura 19 – Massa seca de colmos simulada e observada para variedade NCo376 com e sem irrigação	44
Figura 20 – Massa seca de colmos simulada e observada para variedade SP83-2847 com e sem irrigação	44
Figura 21 – Massa seca da parte aérea simulada e observada para variedade R570 com e sem irrigação	45
Figura 22 – Massa seca da parte aérea simulada e observada para variedade RB72454 com e sem irrigação	45
Figura 23 – Massa seca da parte aérea simulada e observada para variedade NCo376 com e sem irrigação	46
Figura 24 – Massa seca da parte aérea simulada e observada para variedade SP83-2847 com e sem irrigação	46
Figura 25 – Produtividade simulada e observada para variedade R570 com e sem irrigação	47
Figura 26 – Produtividade simulada e observada para variedade RB72454 com e sem irrigação	47
Figura 27 – Produtividade simulada e observada para variedade NCo376 com e sem irrigação	48
Figura 28 – Produtividade simulada e observada para variedade SP83-2847 com e sem irrigação	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as três tipos de modelos explanatórios quanto ao seu valor de previsão, científico, instrutivo e de aplicabilidade (VRIES et al., 1989).....	16
Tabela 2 – Descrição dos diferentes horizontes do solo da área experimental	28
Tabela 3 – Variações do Kc para cana planta de ano	29
Tabela 4 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b para a calibração da altura das quatro variedades em estudo	33
Tabela 5 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b para a calibração do índice de área foliar das quatro variedades em estudo.....	42
Tabela 6 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b obtidos na calibração do modelo Moticas a partir dos dados observados para a variedade R570	48
Tabela 7 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b obtidos na calibração do modelo Moticas a partir dos dados observados para a variedade RB72454	49
Tabela 8 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b na calibração do modelo Moticas a partir dos dados observados para a variedade NCo376	49
Tabela 9 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b obtidos na calibração do modelo Moticas a partir dos dados observados para a variedade SP83-2847	49
Tabela 10 – Valores dos diferentes parâmetros obtidos para as variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 utilizados na calibração do modelo Moticas.....	50

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é originária do Sudeste Asiático, na região centrada em Nova Guiné e Indonésia (DANIELS; ROACH, 1987). Através de migrações no período compreendido entre os anos 8000 a 6000 AC, expandiu-se para as Ilhas Solomon, Novas Hébridas e Nova Caledônia, Indonésia, Filipinas e Norte da Índia. Posteriormente, da Índia foi levada para a Europa, de onde, na primeira metade do Século XVI, foi transportada para o continente Americano (FAUCONNIER; BASSEREAU, 1970). Portanto, a cana-de-açúcar tem origem em ambiente com ampla disponibilidade de energia, luminosidade e água, porém adaptou-se aos diversos climas no mundo, nos quais podem existir restrições a produção pela menor disponibilidade dos fatores de crescimento.

Atualmente, a cana-de-açúcar vem sendo cultivada em muitos países do mundo. O Brasil é o maior produtor mundial (324.668 mil toneladas métricas) e o que possui também a maior área cultivada (4.812 mil ha) no mundo. Outros países grandes produtores mundiais são: Índia, China, Cuba, Tailândia, Paquistão e Austrália (FNP, 2001).

Dentre os cultivos do Brasil, o da cana-de-açúcar é o terceiro em área plantada, ficando atrás da soja e milho. No Estado de São Paulo, onde se concentra mais da metade das áreas cultivadas e da produção brasileira (FNP, 2001), ela ocupa a maior área plantada, vindo a contribuir com 29% do PIB agrícola. Pela dimensão que atingiu após o Proálcool, a agroindústria sucroalcooleira é hoje não apenas de alto valor socioeconômico na sociedade brasileira, mas também estratégica pela participação do álcool por ela produzida na matriz energética do país.

O fato de ser uma planta semiperene em condições de cultivo antrópico, ser cultivada por cinco anos ou mais após plantada, aliada à diversidade de solos e clima em que é explorada, a escolha da melhor variedade e do melhor ambiente para cultivá-la torna-se decisiva para obter altas produtividades, e, conseqüentemente, melhor rentabilidade. Assim, pesquisas de campo, que é a forma tradicional para verificar a adaptação das novas variedades a ambientes específicos e forma de colheita utilizada (mecanizada, manual, queimada ou sem queima prévia), têm grande importância. Esse procedimento permite aos pesquisadores caracterizar a interação genótipo - ambiente

para recomendar as variedades de forma correta, buscando eliminar possíveis problemas que possam ocorrer no cultivo comercial (LAVORNETI; MATSUOKA, 2001).

Modelos de simulação do crescimento da cana-de-açúcar poderiam simular esses diferentes cenários e otimizar recursos financeiros e humanos, através do direcionamento de pesquisas do setor, além de aumentar o entendimento dos processos envolvidos no crescimento e produtividade. Isso poderia ser implantado em áreas maiores e com isso favorecer muitos agricultores.

Existem inúmeros países como a França (Moscas), Holanda (Sucros), África do Sul (Irricane e Canegro) e Austrália (Apsim) vêm desenvolvendo softwares que utilizam modelos simulação das variadas situações de manejo de campo (INMAN-BAMBER, 1991; TODOROF et al., 2001; CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT, 1998; KEATING et al., 1999). Com isso, esses países esperam conseguir aumentar a produtividade e tirar melhor proveito de recursos naturais, como água e solo (SINGELS et al., 1998; SINGELS; KENNEDY; BEZUIDENHOUT, 1999; LUMSDEN et al., 2000; COMBRES et al., 2001) e dos recursos financeiros destinados à pesquisa científica.

No entanto, no Brasil o uso de modelos de simulação de crescimento ainda não é rotina. Inúmeras são as pesquisas relevantes observando resultados de adubações, irrigação, controle de pragas e doenças na produtividade, mas os experimentos que inter-relacionam fatores como solo, clima e variedades com a fenologia da cana-de-açúcar são poucos, quanto mais utilizando modelos matemáticos. Em um estudo pioneiro realizado por pesquisadores do Instituto Agrônomo de Campinas ficou enfatizada a carência de informações básicas sobre a fenologia da cana-de-açúcar (PEREIRA; MACHADO, 1986).

Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi obter dados básicos de crescimento, desenvolvimento e produção da cana-de-açúcar de quatro variedades, em condições do estado de São Paulo e com isso avaliar o modelo de crescimento Moscas, desenvolvido pelo Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Simulação ou modelagem matemática

Com a popularização dos computadores e dos constantes e rápidos avanços da informática houve uma evolução significativa do uso da análise de sistemas aplicada aos estudos em agroecologia. Um sistema é uma parte restrita da realidade, com componentes inter-relacionados e limites bem definidos, influenciados pelo meio, porém sem afetá-lo significativamente. Os modelos matemáticos são descrições simplificadas dos sistemas, construídos para melhor entendimento do seu funcionamento e das interações entre seus componentes principais, permitindo a quantificação dos elementos de interesse (BERNARDES et al., 1998, PEREIRA, 1987). Para Aris (1994) são equações matemáticas que representam uma série de fenômenos tais como, entidade física, química, biológica, social ou conceitual. Os modelos permitem a previsão do desempenho do sistema pela simulação de situações já ocorridas ou ainda não experimentadas.

O significado de simular é representar com semelhança, aparentar (HOLANDA FERREIRA, 1995) e simulação pode ser definida como arte de se fazer parecer igual (PEREIRA, 1987). A utilização de modelos de simulação do crescimento de culturas busca representar da melhor forma o crescimento, levando em conta as condições edafo-climáticas do local e a variedade (interação variedade - ambiente). Com isso se torna possível prever eventuais quebras de produtividade, verificar o potencial produtivo de variedades para uma dada região, ou então auxiliar pesquisadores e produtores no manejo cultural, além de diminuir gastos com experimentação. O fato de se conseguir prever produções tem efeitos sobre a política agrícola, nos processos de comercialização, na formação de estoque, dentre outros aspectos.

Na construção dos modelos também se ganha com a identificação de áreas em que há escassez de informação, sugerindo prioridades de pesquisa e agregando conhecimento de forma organizada e resumida, acarretando sempre um enfoque interdisciplinar aos estudos (BERNARDES et al., 1998). A formulação de modelos compreende as fases de seleção dos postulados nos quais o modelo será baseado, seleção das equações para descrever os fenômenos a serem considerados, parametrização das equações com dados disponíveis em publicações ou em resultados

próprios gerados, calibração dos parâmetros alterando seus valores até que ocorra concordância entre os resultados do modelo e os resultados empíricos aos quais o modelo deveria reproduzir a avaliação dos resultados gerados. Essa avaliação deve ser feita comparando-se os resultados externos, como por exemplo produtividade da cultura e seu acúmulo de fitomassa, e os resultados internos, como o balanço de água no solo, acúmulo de área foliar, com seus análogos medidos empiricamente (KEULEN, 1976).

Existem proposições de diferentes modelos de simulação de crescimento de cana-de-açúcar, as quais normalmente objetivam o aspecto da produtividade final. O modelo será tanto melhor quanto mais conhecimento estiver contido nele.

A complexidade do sistema biológico e da falta de conhecimento quanto a alguns processos de seu funcionamento faz com que a modelagem fique sempre imperfeita ou incompleta. Isso ocorre também por causa da grande capacidade das plantas de se adaptarem a diversas condições edafo-climáticas, em especial a cana-de-açúcar, que é uma espécie pertencente ao grupo das plantas de fotossíntese C4 e ainda o longo ciclo permite que numa fase posterior favorável se recupere eventual depressão anterior.

2.2 Modelo Mosaic

Desde 1995, o CIRAD vem desenvolvendo um modelo ecofisiológico de simulação da cultura da cana-de-açúcar denominado Mosaic.

O modelo foi desenvolvido com dados obtidos na região de Guadalupe e na Ilha Reunion onde existe uma gama imensa de diferentes condições climáticas e edáficas em função sua localização geográfica e formação geológica, o que favorece extremamente a confecção de modelos de simulação (MARTINÉ, 2003).

Este modelo permite, a partir de parâmetros de entrada, como os dados meteorológicos (radiação, precipitação, temperatura, etc.), de solo (capacidade de água disponível), da planta e suas variedades, da cultura e de seu manejo (data de plantio e cultivos, esquema de irrigação), calcular, dia a dia, as variáveis climáticas (evapotranspiração máxima e real, soma térmica), de solo (drenagem, capacidade de água disponível), da cultura e suas variedade, como o crescimento em biomassa total e a partição para os diferentes órgãos da cana (raízes, colmos e seu conteúdo de fibra, perfilhos, folhas ativas e folhas mortas), sua morfologia (altura das plantas,

comprimento dos colmos, profundidade do sistema radicular, área foliar e IAF) e produtividade (massa seca ou massa fresca total, teor de água e sacarose nos colmos) (TODOROFF et al., 2001), dessa forma permitindo descrever precisamente os estádios de desenvolvimento da cultura de acordo com o ambiente de cultivo (água no solo, temperatura, etc.).

Este modelo integra uma rotina de cálculo do balanço hídrico do solo, que permite simular irrigação como uma adição à água da precipitação, e incorporará, brevemente, uma rotina de balanço de nitrogênio.

Na figura 1 está ilustrado o esquema diagramático do modelo Mosicas mostrando suas entradas e saídas e outros detalhes.

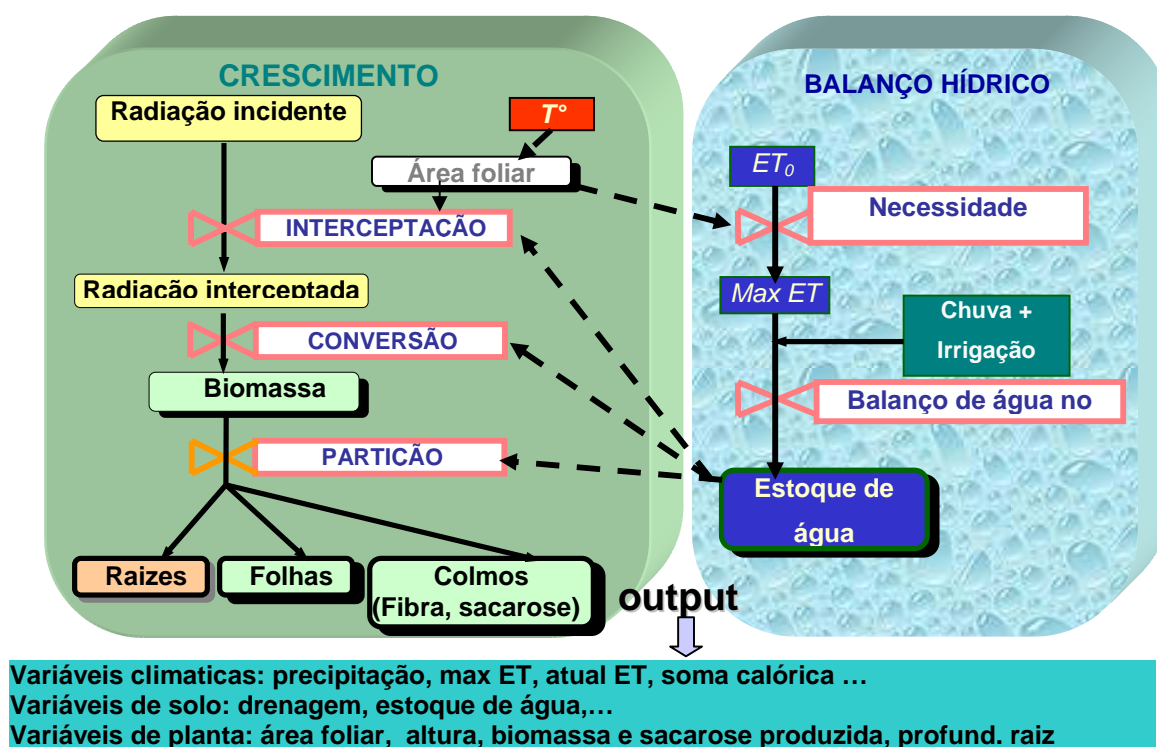


Figura 1 – Diagrama relacional do Mosicas

O modelo Mosicas é um modelo explanatório. Os modelos explanatórios analisam o sistema como um todo, além dos processos separadamente, descrevendo-os quantitativamente. Os modelos explanatórios podem ser divididos em três tipos ou fases: preliminar, compreensivo e simplificado. Passa-se de um tipo ou fase a outra de

forma gradual. Os modelos preliminares têm estrutura simples, pois a perspicácia do modelo é levemente vaga. Os compreensivos representam o sistema no qual os elementos essenciais são cuidadosamente entendidos e incorporados. Modelos simplificados são resumos dos compreensivos. A tabela 1 compara os diferentes modelos quanto aos valores de previsão, científico, instrutivo e de aplicabilidade. O Mosicas poderia ser classificado como um modelo compreensivo. Para o desenvolvimento de um bom modelo todas as fases devem ser trabalhadas cuidadosamente, o que faz com que o mesmo consiga ter bom fundamento científico, facilidade na sua compreensão, possibilitando, dessa forma, uma melhor estimativa e aplicabilidade.

Tabela 1 – Comparação entre as três tipos de modelos explanatórios quanto ao seu valor de previsão, científico, instrutivo e de aplicabilidade (VRIES et al., 1989)

Tipos de modelos explanatórios	Valor de previsão	Valor científico	Valor instrutivo	Valor de aplicabilidade
Modelos preliminares	+	+++	++	+
Modelos compreensivos	++	+++	+	++
Modelos simplificados	+++	+	+++	+++

2.3 Fenologia da cana-de-açúcar

2.3.1. Perfilhamento

A temperatura ideal para a emergência das gemas está na faixa entre 27 a 32°C. Temperaturas abaixo de 5°C e acima de 45°C têm efeito prejudicial. A umidade ótima do solo varia de 15 a 25% (CASAGRANDE, 1991; IRVINE, 1983). A partir da brotação das gemas inicia-se o processo de perfilhamento.

Foram observadas diferenças de temperatura ótima para germinação entre variedades em função do centro de origem. Variedades de origem subtropical têm faixa

ótima com temperaturas menores, de 26 a 33°C (DILLEWIJN, 1952), enquanto que as de origem tropical têm faixa ótima entre 34 e 38°C (VARRET, 1927 citado por BARBIERI, 1993).

Perfilhamento é o processo de emissão de colmos ou hastes por uma mesma planta, os quais recebem a denominação de perfilhos. Ele ocorre a partir da porção subterrânea (restolho) dos próprios colmos anteriormente formados e varia de espécie para espécie, variedades dentro da mesma espécie, e manejo cultural.

O perfilhamento se diferencia entre as espécies de *Saccharum*. Variedades provenientes de *S. officinarum* têm baixo perfilhamento, enquanto que as de *S. spontaneum* tem maior perfilhamento (STEVENSON, 1965).

O processo de perfilhamento é regulado por uma auxina que é formada no topo e que desce em fluxo contínuo em direção à base. Essa auxina promove a biossíntese de enzimas específicas que atuam na degradação de polissacarídeos específicos da parede celular do colmo, produzindo oligossacarídeos capazes de inibir o desenvolvimento das gemas laterais, que se manteriam dormentes (CASTRO, 2001a).

A auxina exerceria então, nesse caso, um duplo efeito: alongamento do colmo e o impedimento do desenvolvimento das gemas laterais (dominância apical). Com alta luminosidade, o fluxo de auxina diminui e observa-se então decréscimo no grau de inibição das gemas laterais, o que resulta numa maior formação de perfilhos (CASAGRANDE, 1991).

Inman-Bamber (1994) verificou, em cana soca, que o pico de perfilhamento e conseqüentemente o início da queda no número de perfilhos inicia-se após 500 GD e que a estabilização ocorre após 1200 GD, considerando uma temperatura base de 16°C. Tanto em cana planta quanto em soca, o número de perfilhos começou a decrescer quando a cultura intercepta 70% da RFA. Neste estudo o autor não encontrou diferenças significativas no início da morte de perfilhos entre duas variedades (NCo376 e N12) evidenciando assim que esse ponto seria o início de um novo estágio fenológico da cana-de-açúcar.

Segundo Suguitani e Matsuoka (2001) o perfilhamento nos primeiros meses após o plantio é lento, sendo mais intenso à medida que as condições climáticas, temperatura e precipitação tornam-se favoráveis, chegando ao pico entre os meses de

novembro e dezembro, nas condições do estado de São Paulo. Foram avaliadas quatro variedades (RB835054, RB835486, RB855113 e RB855536) em duas regiões produtoras (Araras e Valparaíso) e o número máximo de perfilhos por metro linear encontrado foi de 20 a 25. Esse valor foi diminuindo até a colheita, sendo a redução da ordem de 40 a 50% em relação ao pico populacional, chegando a valores entre 10 e 13 perfilhos m^{-1} dependendo da variedade. Esta redução também foi observada por Prado (1988) estudando as variedades NA56-79, IAC 52-150 e SP 70-1143 em diferentes densidades de plantio, em São Paulo e por Machado et al. (1982) e Leme; Sacardua e Rosenfeld (1981) que encontraram um valor de 50% de redução no número de colmos m^{-2} , o que resultou numa densidade de colmos final de 8 a 9 colmos m^{-1} .

2.3.2. Área foliar

A área foliar está diretamente relacionada com a produtividade, pois as folhas interceptam a luz fotossinteticamente ativa para se fazer a fotossíntese, produzindo carboidratos que irão ser utilizados, direta ou indiretamente, em todos os processos vitais da planta. Além de estar ligada com a radiação, o desenvolvimento da área foliar está fortemente relacionado com a temperatura (MUCHOW; CARBERRY, 1989) e com características da planta como taxa de perfilhamento, surgimento e expansão de folhas, além do tamanho das mesmas.

A intensidade de crescimento foliar na fase inicial do desenvolvimento da cana-de-açúcar é o fator mais importante na taxa de crescimento e na biomassa acumulada (MACHADO et al., 1982; 1983), tendo, portanto, preferência na partição da matéria seca da parte aérea em relação aos colmos. San José e Medina (1970) verificaram que a matéria seca das folhas desenvolve mais rapidamente que a matéria seca da parte aérea como um todo, atingindo 95% do seu valor final (colheita) logo aos 250 a 260 dias após plantio. Isso fica evidenciado também nos diferentes modelos brasileiros como os descritos por Machado (1981), Barbieiri (1993) e no SIMCANA (Simulador dinâmico do crescimento diário de uma cultura de cana-de-açúcar) desenvolvido por Pereira e Machado (1986).

No início do desenvolvimento, a maior parte da fitomassa produzida pela cana-de-açúcar é destinada à formação e crescimento de folhas, o que simultaneamente leva

à formação de novos perfilhos que, por sua vez, depende da formação dos restolhos. Machado (1987), estudando a matéria seca acumulada nas folhas das variedades NA 56-79 e CB 41-14, verificou que, até os 100 dias após o plantio, 70% da matéria seca da planta estava nas folhas. Esta proporção foi decrescendo até chegar ao valor de 9% aos 400 dias.

Segundo Machado (1987), a área foliar individual aumenta inicialmente mais em função do aumento do comprimento da folha e posteriormente em função apenas da largura. Isto acontece porque no início a planta busca ocupar rapidamente a área da linha e entrelinha, e depois disso o aumento da largura ocorre como uma forma de otimizar a ocupação do espaço entre perfilhos. Segundo Machado (1981) as folhas possuem área foliar específica de 1 g matéria seca dm^{-2} de folhas.

Suguitani (2001) observou que o índice de área foliar (IAF) aumentava até março e depois decrescia. Na Austrália, Muchow et al. (1994) também verificaram um aumento inicial de IAF de folhas verdes de $2,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ aos 167 dias após plantio para $6,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ aos 297 dias, depois desse período ocorre declínio no IAF para valores próximos de $3,9 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ aos 445 dias. Barbieri e Villa Nova (1981) relatam que esse aumento de IAF é acompanhado sempre de um maior consumo de água, portanto tendo água disponível no período inicial tende a se fechar o dossel mais rapidamente.

Irvine (1983) encontrou valores máximos de IAF maiores que 8, mas valores entre 4 e 5 foram mais comuns. Em tratamentos irrigados ou sem restrição hídrica, o IAF tende a ser maior (LEME; MANIEIRO; GUIDOLIN, 1984). Barbieri; Bacchi e Villa Nova (1981), estudando diferentes espaçamentos, verificaram que naqueles menores o IAF aumentava com maior rapidez. Isso significa que o espaçamento usual, adequado pelas exigências mecânicas, não é o mais adequado para maximizar a produção biológica.

Um IAF próximo de 4 é suficiente para interceptar 95% da radiação solar incidente (MACHADO et al., 1985). Este resultado foi observado também por Medina; San José e Sequeira (1970), que, estudando a distribuição espacial das folhas com relação à interceptação da radiação na faixa do visível, verificaram o fechamento quase por completo do dossel em IAF maiores que 4, mostrando que superfícies foliares superiores que venham a resultar em IAF maior que este valor praticamente não são

assimilatórias. Em IAF acima de $2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ inicia-se a morte dos colmos, em função da competição por luz, pois a quantidade de radiação que atravessa essa camada de folhas está na faixa de 20 a 30% da radiação incidente (MEDINA; SAN JOSÉ; SEQUEIRA, 1970; BARBIERI, 1993).

Segundo Suguitani (2001), em condições climáticas desfavoráveis o número de folhas produzidas da colheita até março é menor do que em favoráveis, com chuvas e temperaturas adequadas. Nesta pesquisa o número de folhas fotossinteticamente ativas variou de 5 a 9 por colmo durante o ciclo, sendo que o número máximo de folhas ativas ocorreu no mês de dezembro, estando o valor próximo do encontrado nos meses que antecederam a colheita da cana soca.

Inman-Bamber (1991), estudando a variedade NCo376 utilizando 12°C como temperatura base, verificou que cada uma das primeiras 11 folhas eram emitidas a intervalos de 70 GD e que as subseqüentes a cada 130 GD, isso evidencia que a taxa de surgimento de folhas diminui continuamente com o acúmulo de graus dias. Na Colômbia, na fase de crescimento vegetativo mais intenso da cana-de-açúcar, com temperatura média de 24°C , surge uma folha nova por semana em cada perfilho (COCK, 2001). O autor associa o rápido crescimento e o desenvolvimento de novas folhas com a absorção mais intensa de nutrientes, principalmente o nitrogênio.

Irvine (1983) verificou que em condições favoráveis novas folhas são produzidas no intervalo de uma a duas semanas, já Glasziou et al. (1965) observaram o surgimento de uma nova folha a cada 10 dias e que após o surgimento de seis folhas, contadas a partir da folha +1 (folha com a primeira aurícula visível), pouca luz atravessa o dossel. Nessa ocasião, a folha +7 já iniciará a senescência e no momento que surgir a décima folha, a +10 já deve estar morta.

Machado et al. (1982 e 1983) verificaram que a duração de uma folha fotossinteticamente ativa variava de um a cinco meses, em função da idade da planta e das condições climáticas.

Irvine (1983) observou que a longevidade de uma folha é maior no período de maior crescimento vegetativo e que nessa fase chegava a ser de cinco meses. Amaya et al. (1995), citado por Cock (2001), encontraram um valor similar, com duração de

folha de 140 dias quando os perfilhos estavam com sete meses de idade. Já Dillewijn (1952), no Havaí, verificou que a duração média de uma folha variava de 60 a 75 dias.

A senescência das folhas é um dos aspectos a serem observados no momento da partição de carbono e em relação aos processos fisiológicos. As folhas senescentes passam a não fazer fotossíntese e não podem ser incluídas entre os órgãos da planta que gastam energia através da respiração. Esse processo é influenciado pela idade da cultura e competição dos perfilhos por luz, nutrientes e água. Devido a essa senescência de folhas mais velhas e do surgimento de novas folhas, observa-se que o número de folhas por colmo se torna constante, de 8 a 10 folhas por colmo, depois que ocorre o fechamento do dossel (Machado, 1981).

2.3.3. Fotossíntese

A cana-de-açúcar é uma planta C4 e responde às mais altas intensidades luminosas, sendo seu ponto de saturação lumínico muito elevado.

Para cana-de-açúcar, a fotossíntese máxima ocorre na faixa do comprimento de onda correspondente à luz azul (ALEXANDER, 1973). Nickell (1987) citado por Castro (2001b) observou existir diferenças varietais em relação à eficiência fotossintética. Existem variedades em que a resposta à intensidade de radiação pode ser representada por uma parábola, ou seja, essas plantas atingem a saturação e depois têm a eficiência diminuída. Nessas variedades, a diminuição na intensidade luminosa, até certos limites, não causaria problemas na produção, podendo até ocasionar aumentos de produtividade. Isso não acontece com variedades que apresentam resposta assintótica à radiação. Essa curva assintota, relacionando taxa fotossintética bruta ou líquida (F em $\mu\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) pode ser representada matematicamente e é obtida em função da F_{max} (fotossíntese máxima bruta ou líquida em $\mu\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), inclinação inicial (ε), e a variável de entrada é a irradiância fotossinteticamente ativa absorvida (I_a em $\text{J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

A equação (1) seria:

$$F = F_{\text{max}} \cdot (1 - e^{-I_a \cdot \varepsilon / F_{\text{max}}}) \quad (1)$$

Sendo: F em $\mu\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

ε = fator de conversão da radiação ($\mu\text{g. CO}_2 \text{ J}^{-1}$)

Essas características dependem fortemente pelo lado ambiental da temperatura, disponibilidade de água, entre outros fatores e, pelo lado vegetal, da espécie, da variedades e do seu estado hídrico e nutricional. O valor da la equivaleria a 35% da radiação global, uma vez que metade desta está na faixa do visível (400-700nm), considerada RFA ou PAR. O coeficiente de extinção nesta faixa seria na ordem de 0,7 (BERNARDES; LIMA, 2000).

As folhas se encontram praticamente saturadas com irradiância de $400 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ou $500 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente para plantas do tipo C3 e C4. O maior valor encontrado para plantas C4 está associado mais à ausência ou à não detecção de fotorrespiração do que maior eficiência do aparato fotorreceptor destas plantas. Waldron; Glasziou e Bull (1967) observaram que a saturação luminosa em folhas individuais sem sombreamento está próxima de $0,6 \text{ cal cm}^{-1} \text{ min}^{-1}$. Estes mesmos autores verificaram que a temperatura afeta a fotossíntese e que a cana-de-açúcar apresenta Q_{10} de 1,1, na faixa de temperatura que vai de 8 a 34°C , ou seja, a assimilação de CO_2 aumenta 1,1 vezes a cada aumento de 10°C .

A maior parte da energia é interceptada pelas seis primeiras folhas totalmente expandidas do ápice da planta. As folhas inferiores iniciam sua senescência, tendo o potencial fotossintético individual equivalente a 60% das folhas superiores (Waldron et al., 1967). Segundo Bull (1969) a absorção das folhas jovens é maior que $100 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ numa radiação de $1,7 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ou $0,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ na fração PAR.

Muchow et al. (1994) verificaram que a fração da radiação interceptada pela cana-de-açúcar varia com o ciclo da cultura, sendo que aos 167 dias após plantio o valor seria de 0,57 e posteriormente ocorreria um aumento até chegar ao pico de 0,93 aos 297 dias. A radiação interceptada é responsável pela produção de fitomassa. A eficiência da utilização da radiação é na ordem de $1,80 \text{ g MJ}^{-1}$ para cana planta e $1,65 \text{ g MJ}^{-1}$ para cana soca, estes valores foram adaptados e ajustados dos valores obtidos por Muchow et al. (1994), Robertson et al. (1996) e por McCown et al.(1996) no desenvolvimento do modelo australiano APSIM-Sugarcane (Agricultural Production Systems sIMulator). Sinclair e Horie (1989) também encontraram valores semelhantes

em algumas plantas C4, chegando a um valor de $1,7 \text{ g MJ}^{-1}$, valor esse um pouco superior ao encontrado em milho e sorgo por Muchow e Davis (1988) que verificaram que o valor da eficiência do uso da radiação ficaria em torno de $1,6 \text{ g MJ}^{-1}$. A maneira como a área foliar é distribuída verticalmente na copa também influencia a proporção de luz incidente que penetra no dossel. A atenuação da luz a qualquer profundidade da copa pode ser considerada como IAF interposto (IAF entre o topo e determinada profundidade da copa). Essa atenuação pode ser representada pela equação apresentada por Monsi e Saeki (1953), onde a extinção da radiação é calculada através de um dossel uniformemente distribuído no espaço, eq.(2):

$$I = I_0 \cdot e^{-kIAFi} \quad (2)$$

onde I e I_0 são fluxos de luz a uma dada profundidade e no topo da copa, respectivamente, $IAFi$ é o índice de área foliar do topo até esta profundidade e K é o coeficiente de extinção da luz.

Muchow et al. (1994) e Robertson et al. (1996) determinaram o valor de 0,38 para o coeficiente de extinção da radiação. Já Barbieri (1993), ajustando os valores de Chang et al. (1965) para valores de IAF maiores que 1,0, chegou ao valor de k igual a 0,58.

Shimabuku e Higa (1977) correlacionaram o k com a arquitetura foliar da cana-de-açúcar e observaram as diferenças que ocorrem na cultura. Encontrou-se correlação positiva entre o k e o IAF no início do crescimento e uma correlação negativa na fase maior crescimento. A produtividade também teve correlação negativa com k . Variedades que apresentava menor k foram as que tiveram maior produção, em função do menor número de colmos mortos.

2.3.4. Crescimento e acúmulo de fitomassa

A produção da cana-de-açúcar, pela parte da planta, é resultado de vários componentes fenológicos, tais como: número de perfilhos, altura de colmos, diâmetro de colmos, densidade dos colmos, etc. Segundo vários autores, o parâmetro que apresenta maior correlação com a produção é o número de colmos, seguido pela altura,

diâmetro de colmos e densidade, nessa ordem (CESNIK; VENCOVSKY, 1974, MARIOTTI, 1971; MILLER; JAMES, 1974). Todos eles são caracteres governados geneticamente, porém estão sujeitos à influência ambiental (SKINNER, 1981).

Existe uma ótima correlação entre o consumo de água e a produção de colmos. A água apresenta grande importância para a cana-de-açúcar, principalmente no primeiro período de produção, ou seja, na brotação, perfilhamento e estabelecimento, no período de crescimento vegetativo o peso da água no ciclo da cultura diminui, chegando a ser considerado como quase insignificante no período de maturação (SCARDUA, 1985; DELGADO-ROJAS; BARBIERI, 1999).

Barbieri e Villa Nova (1981) obteve um consumo em água de 1.300 mm, para uma produção de aproximadamente 15,5 kg de colmo industrializáveis por m² no evapotranspirógrafo de nível freático constante, ou seja, 11,9 g mm⁻¹ de água. Este valor é próximo dos encontrados por Rosenfeld e Leme (1984) que observaram uma eficiência no uso da água de 10,3 g mm⁻¹ e dos obtidos por Isobe (1969) que variou de 8,8 a 12,0 g mm⁻¹ de água.

Em relação a demanda de água, Barbieri e Villa Nova (1981) verificaram que existem diferenças na demanda de água de acordo com o estágio da cultura. O consumo de água da variedade NA 56-79 foi de 0,5 mm dia⁻¹ na época da emergência e de 6,03 mm dia⁻¹ na fase de pico de consumo em dezembro, decaindo para 2,8 mm dia⁻¹ no início da fase de maturação. Existe também variação em relação aos ciclos cana planta e socas. Em estudos realizados em Araras (SP), Scardua et al. (1980) e Sousa e Scardua (1977) encontraram consumo mínimo de 1,78 a 2,10 mm dia⁻¹ e máximo de 4,5 a 4,4 mm dia⁻¹ para cana planta e soca respectivamente, sendo o consumo médio de aproximadamente 3,10 mm dia⁻¹.

Com a utilização da irrigação Leme; Scardua e Rosenfeld (1981) conseguiram aumentos médios de produção de 19,04, 20,68 e 14,29 Mg ha⁻¹ para cana planta, soca e ressoca respectivamente, na região de Araras, cultivando a variedade IAC51/205. Nesta mesma região, Souza e Scardua (1977) verificaram aumentos de 40,93 e 14,03 Mg ha⁻¹ para cana planta, soca respectivamente. Em Ribeirão Preto (SP) Barreto et al. (1971) encontrou valores médios de aumento de produtividade superiores, na ordem de 40,97 e 14,03 Mg ha⁻¹ para as variedades Co419 e CB41-76 respectivamente.

A curva de acúmulo de fitomassa da parte aérea segue normalmente uma curva de função logística. Já a taxa de produção de matéria seca tende a seguir uma sigmóide (GAVA et al., 2001; SILVEIRA, 1985). Segundo Fauconier (1970) em temperaturas abaixo de 25°C o crescimento da cana-de-açúcar é lento, entre 30 e 34°C é máximo, e acima de 35°C é lento também, sendo que a partir de 38°C o crescimento é nulo.

De acordo com Castro (2001b), nos primeiros 30 dias a plântula se desenvolve em função da reserva que existe no tolete e da água e nutrientes absorvidos pelas raízes de fixação, que são as primeiras a se formarem a partir dos primórdios radiculares localizados na zona radicular do tolete. Com o passar do tempo, as raízes de fixação vão perdendo a função de absorver nutrientes, sendo que aos 90 dias a cana passa a depender exclusivamente das raízes emitidas pelos perfilhos e o sistema radicular se concentra nos primeiros 30cm. Dois a três meses após o plantio as raízes já estão bem desenvolvidas, por isso, a partir dessa fase deve-se evitar práticas destrutivas nas entrelinhas.

Machado et al. (1982) dividiu o crescimento da parte aérea da cana-de-açúcar, em relação à matéria seca da parte aérea, em três etapas: fase inicial, em que o crescimento é lento, que vai de março a outubro (plantio a 200 dias); fase de crescimento rápido, de outubro a maio, (200 a 400 dias), que é quando 75% da fitomassa total é acumulada, e fase final de crescimento lento, de maio a agosto (400 a 500 dias), que corresponde a 11% da fitomassa total. Segundo Machado (1981) a taxa máxima de crescimento foi de 25 g m⁻² dia⁻¹, no período de 300 a 400 dias após plantio, sendo a taxa média de crescimento em torno de 12 g m⁻² dia⁻¹. Bull e Glasziou (1975), citado por Barbieri (1993), encontraram o valor de 40 g m⁻² dia⁻¹ para a taxa máxima de crescimento, mas isto em condições excepcionais, com a produtividade de colmos atingindo 150 Mg ha⁻¹. Na Austrália, Muchow et al. (1994) obtiveram uma taxa de crescimento semelhante, na fase linear os mesmos verificaram uma taxa de 41,1 g m⁻² dia⁻¹.

Gava et al. (2001), também dividiu o ciclo da cana em três fases e verificou que na primeira fase de desenvolvimento, 0 a 60 dias após colheita (DAC), o crescimento foi lento e os perfilhos acumularam cerca de 6% da matéria seca total da parte aérea. Na

segunda fase, 60 a 210 DAC, a planta apresentou taxa de crescimento elevado e acumulou aproximadamente 81% da matéria seca total. Na terceira fase, 210 a 299 DAC, que é a fase da maturação, houve um acúmulo de matéria seca em torno de 13%.

Deve-se observar que os intervalos dependerão sempre da época em que se dá o início do ciclo e de como correm as condições climáticas posteriormente. Também, que em todos esses estudos o método empregado foi o destrutivo, ou seja, colheita de toda a fitomassa na época determinada. Suguitani (2001), desenvolvendo um método não destrutivo, avaliou o acúmulo de massa fresca de colmo em três períodos do ciclo de soca: agosto a dezembro (parte do inverno e toda a primavera), janeiro a março (verão) e abril a agosto (outono e parte do inverno). Nesse estudo se determinou a fenologia de quatro variedades de cana-de-açúcar (RB835054, RB835486, RB855113 e RB855536) em duas localidades bastante distintas do estado de São Paulo: Araras, região leste, e Valparaíso, oeste. O primeiro período foi caracterizado por um crescimento lento e por volta de 20% de acúmulo de fitomassa útil (colmos industrializáveis) em Araras, contra 10 a 20% em Valparaíso; o segundo período se caracterizou por um crescimento rápido dos colmos e acúmulo de fitomassa útil de 55 a 60% em Araras e 50 a 60% em Valparaíso; no último período a taxa de crescimento diminuiu e os colmos acumularam cerca de 20 a 25% da fitomassa útil total em Araras e de 25 a 30% em Valparaíso. Ocorreram também diferenças varietais, mostrando, assim, o efeito da interação genótipo – ambiente. Esse conhecimento, se bem consolidado em termos da interação variedade – época de início do ciclo traz importante contribuição para o planejamento mais apropriado de colheita e, conseqüentemente, para se obter maior produtividade.

Miocque (1999), acompanhando o crescimento mensal das variedades mais produtivas selecionadas no respectivo ano nos canaviais comerciais de uma empresa da região central do estado, encontrou maior taxa de crescimento no mês de janeiro em 80% dos anos. Ele sugeriu esse mês como referência para possíveis previsões para início de safra (abril a maio): para tanto, adicionaria 30% ao acumulado até então, quando em condições não tão favoráveis ao desenvolvimento ou, 40%, quando em condições climáticas favoráveis. Seria uma forma empírica de se fazer a previsão de safra.

2.4 Material e métodos

2.4.1 Área experimental

O experimento será conduzido no Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Piracicaba (SP), que apresenta as seguintes coordenadas geográficas: altitude de 566 metros, a latitude de 22° 42' Sul e a longitude de 47° 33' Oeste. O solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo, distrófico. A descrição dos diferentes horizontes do perfil do solo foi realizado um mês antes da instalação do experimento e está apresentado na tabela 2.

2.4.2 Dados climáticos

Os dados meteorológicos necessários para o cálculo do crescimento vegetativo (temperatura, radiação global, pluviometria, ETP, dentre outros) foram obtidos em uma estação meteorológica automática próximo da área experimental.

A evapotranspiração potencial foi calculada utilizando a equação de Penman-Monteith (mm dia^{-1}).

A lâmina a ser aplicada por irrigação, com o intuito de se manter o solo na capacidade de campo, foi determinada a partir do método Thornthwaithe e Mather (1955) descrito pelos autores Pereira; Villa Nova e Sedyama (1997). Foi considerada uma capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm para o calculo do balanço, em função dos dados médios do CTC e das curvas de retenção obtidas in situ. As variações do coeficiente da cana planta de ano (K_c), utilizadas no calculo do balanço hídrico, são apresentadas na tabela 3.

Tabela 2 – Descrição dos diferentes horizontes do solo da área experimental

Horizontes	Descrição
Ap	0-9 cm; cinzento escuro; textura média; grumosa moderada pequena; granular fraca pequena e grãos simples de quartzo; terra solta, poros pequenos e médios abundantes; solto a muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição difusa e ondulada. Muitas raízes.
A2	9-22 cm; bruno amarelado claro; textura média; alguns grumos, blocos subangulares e angulares, pequenos a médios, fracos; friável, pouco plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e difusa. Quantidade moderada de raízes.
A/B	22-37 cm; bruno amarelado; textura média; blocos subangulares, grande a médios, fraco; friável, pouco plástico e ligeiramente pegajoso. Porção em que existe aspecto e feições de macro estruturação.
Bw1	37-49 cm; bruno amarelado; textura média; estrutura maciça porosa que se desfaz em blocos subangulares, grande a médios, fraco; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
Bw2	49-79+ cm; bruno amarelado; textura média; estrutura maciça porosa mais evidente característico, blocos subangulares, médios a grandes, moderado a fraco; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
Bw3	79-113 cm; bruno amarelado; textura média; estrutura maciça porosa que se desfaz em blocos subangulares, médios a grandes, moderado a fraco; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. Raízes longas, abundantes.
Bw4	113-145 cm; bruno amarelado; textura média; estrutura maciça porosa que se desfaz em blocos subangulares, grandes, moderado a fraco; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. Raízes longas, abundantes.
Bw5	145-177 cm; bruno amarelado; textura média; estrutura maciça porosa que se desfaz em blocos subangulares, grandes, moderado a fraco; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. Raízes longas, abundantes.

Tabela 3 – Variações do Kc para cana planta de ano

Idade (meses)	Duração (dias)	Kc
0 – 2	60	0,40
2 – 3	30	0,75
3 – 3,5	15	0,95
3,5 – 5	45	1,10
5 – 10	150	1,25
10 – 11	30	0,95
11 - corte	-	0,70

2.4.3 Variedades

As variedades utilizadas no experimento foram: R570, NCo376, RB72454 e SP83-2847.

Os dados de campo gerados com a variedade R570 foram utilizados na parametrização e calibração do Mosaic, uma vez que este foi elaborado com parâmetros dessa variedade. Os dados obtidos no campo com a variedade RB72454 e RB835486 serão utilizados para uma primeira avaliação do modelo com variedades brasileiras. A variedade NCo376 foi incluída no experimento por ser padrão do modelo Canegro, um dos mais conhecidos programas de simulação de crescimento, além de apresentar um perfilhamento intenso.

2.4.4 Delineamento experimental

O plantio foi realizado no dia 29 de outubro de 2004 e a colheita do ensaio no dia 26 de setembro de 2005. As quatro variedades foram plantadas no espaçamento 1,40m.

Cada parcela era composta por seis linhas de doze metros. Cada tratamento teve três repetições. O que totaliza 12 parcelas em cada uma das áreas (irrigada e não irrigada).

2.4.5 Avaliações

Altura das plantas

O valor da altura das canas foi obtido medindo cada colmo do nível do solo até a inserção da folha +1. Acompanhou-se as mesmas 8 canas por parcela por todo período.

Perfilhamento

Fez-se a contagem do total de colmos que existiam num total de seis metros lineares por parcela, ou seja, dois metros lineares em cada uma das três linhas centrais.

Dinâmica foliar

Fez-se a contagem do número de folhas verdes, novas e do total em cinco colmos marcados.

Área foliar (AF)

A área foliar foi obtida utilizando o aparelho LI300A da Licor (medidor portátil de área foliar). Os valores de área foliar foram utilizados para determinar o índice de área foliar das variedades.

Fitomassa da parte aérea

Foram obtidos os valores da fitomassa da parte aérea divididas em folhas secas, folhas verdes, colmos e bainhas+palmito.

Uma amostra de cada uma das parte foi levado para a secagem em estufa, até peso constante, no intuito de determinar a umidade e com isso extrapolar o valor de três metros lineares.

Na colheita realizou-se a pesagem de toda a parcela utilizando-se uma célula de carga adaptada a uma carregadeira.

2.4.6 Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística. As previsões das simulações foram comparadas com os resultados obtidos, por regressão linear, e análise de distribuição dos desvios em relação a reta 1:1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Condição climática

Os dados de temperaturas médias, precipitações, irrigações e balanço hídrico climatológico, referentes aos períodos de novembro 2004 até setembro 2005 estão representados na figura 2.

O ciclo da cana planta iniciou-se sem deficiência hídrica nos dois tratamentos. A primeira irrigação por aspersão foi realizada 109 DAP para atingir a capacidade de campo na área irrigada. Nesta área, as irrigações sucessivas permitiram manter o armazenamento em água do solo acima de 80% da CAD praticamente durante o ciclo inteiro.

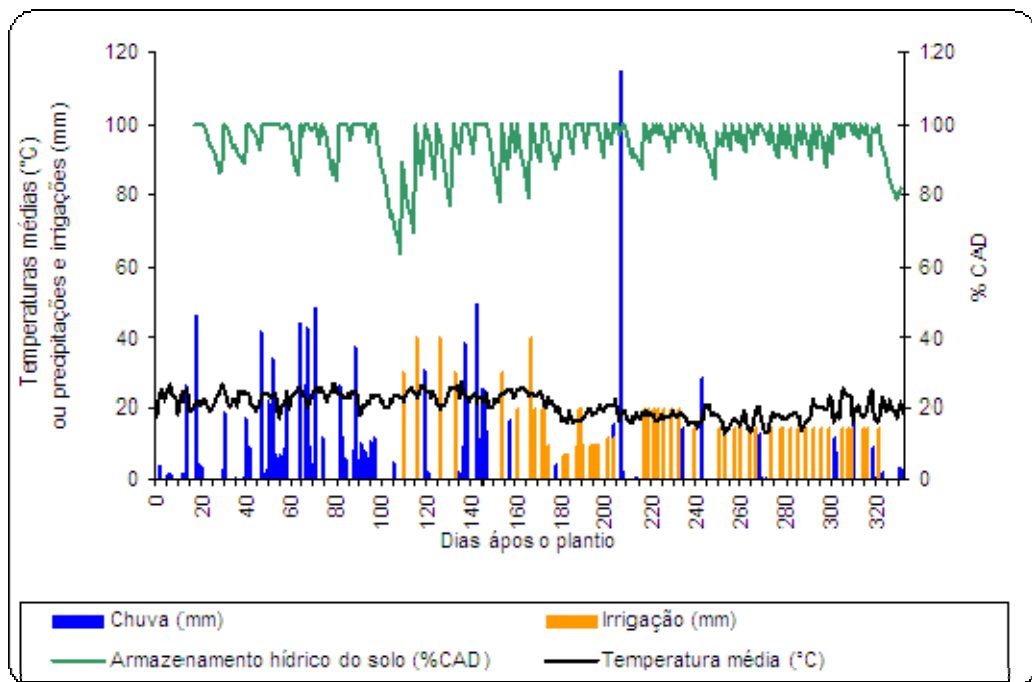


Figura 2 – Chuva, irrigação, armazenamento hídrico do solo e temperatura média

3.2 Altura de plantas

Os valores encontrados nas áreas com e sem irrigação foram semelhantes, não evidenciando o possível efeito benéfico da irrigação, isso ocorreu em função da época de plantio e das chuvas que ocorreram durante o ciclo. Os valores obtidos pelo modelo

Mosicas para as variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 ficaram muito próximos dos observados (tabela 4 e figuras 3 a 6). Todos os valores de r^2 tanto da calibração quanto da linha de tendência (linear) ficaram acima de 0,95. E o valor de a nas regressões lineares na equação $y=a.x$, ficaram próximas de 1,0 o que confirma a boa correlação dos dados simulados com os observados. Os valores de a e b encontrados na tabela 4 se refere a equação da calibração do modelo (Y (observado) = $a + b$.(simulado)).

Tabela 4 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b para a calibração da altura das quatro variedades em estudo

Variedades	rmse	r^2	rse	a	b
R570	7,47	0,99	7,92	-0,0±6	1,00±0,05
RB72454	17,1	0,987	12	-23±12	1,09±0,07
NCo376	10,2	0,989	8,2	-5,4±7	0,99±0,06
SP83-2847	7,6	0,998	4,03	-9,9±3,6	1,03±0,03

A variedade R570 foi a que apresentou a mais extensa fase de menor crescimento absoluto (fase exponencial) que as demais variedades. Nota-se que esta fase durou aproximadamente 115 a 120 dias após plantio (DAP). E a fase de maior crescimento absoluto foi até próximo dos 170 dias, posteriormente o crescimento voltou a ser menor (figura 3).

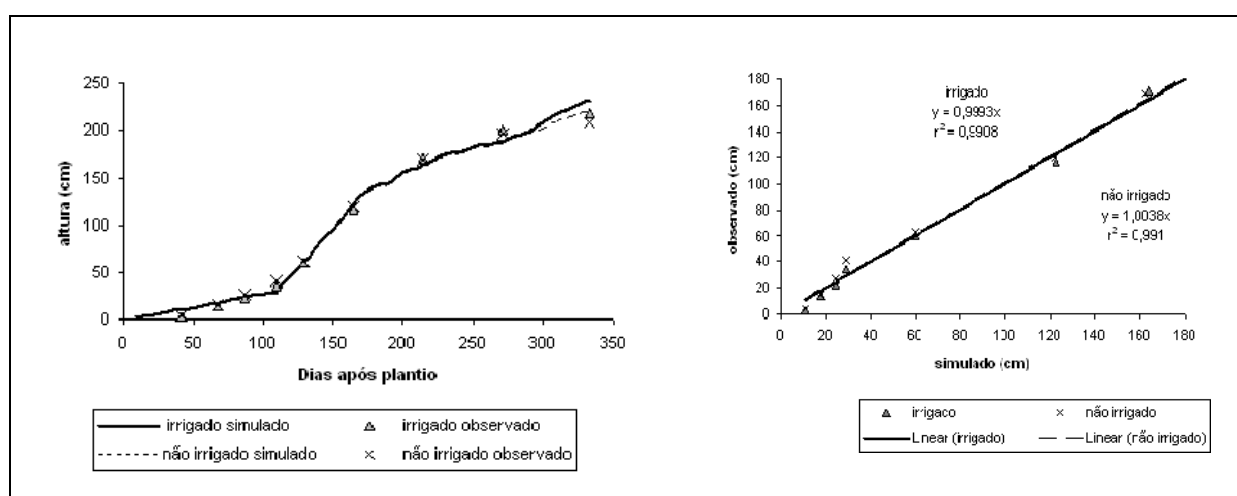


Figura 3 – Altura, em cm, da variedade R570 nas diferentes épocas de avaliação

As outras variedades, NCo376, RB72454 e SP83-2847, apresentaram curvas semelhantes, sendo que a primeira fase de crescimento (exponencial) foi até os 60 a 70 DAP e a segunda fase até os 160 dias aproximadamente (figura 4, 5 e 6).

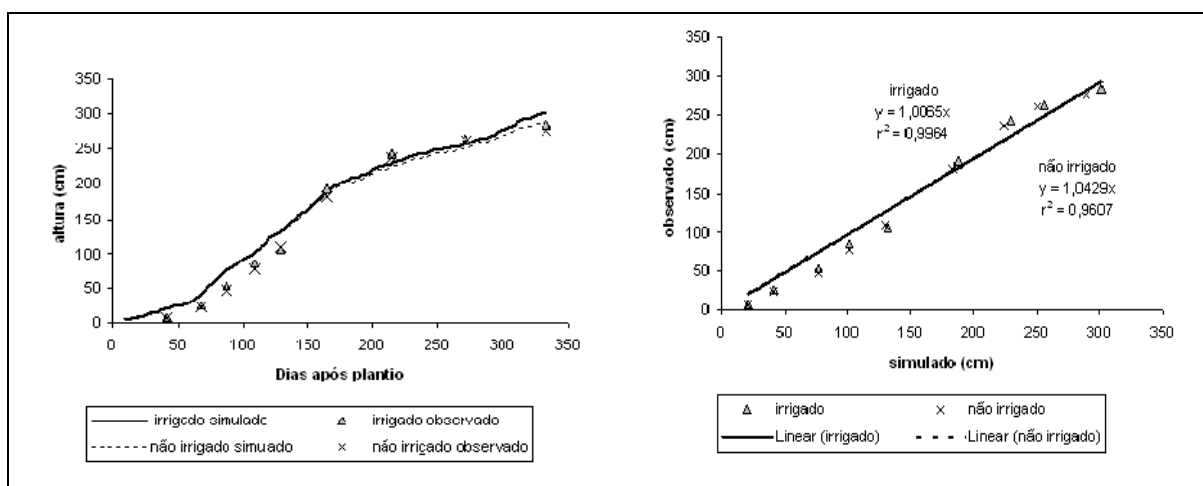


Figura 4 – Altura, em cm, da variedade RB72454 nas diferentes épocas de avaliação

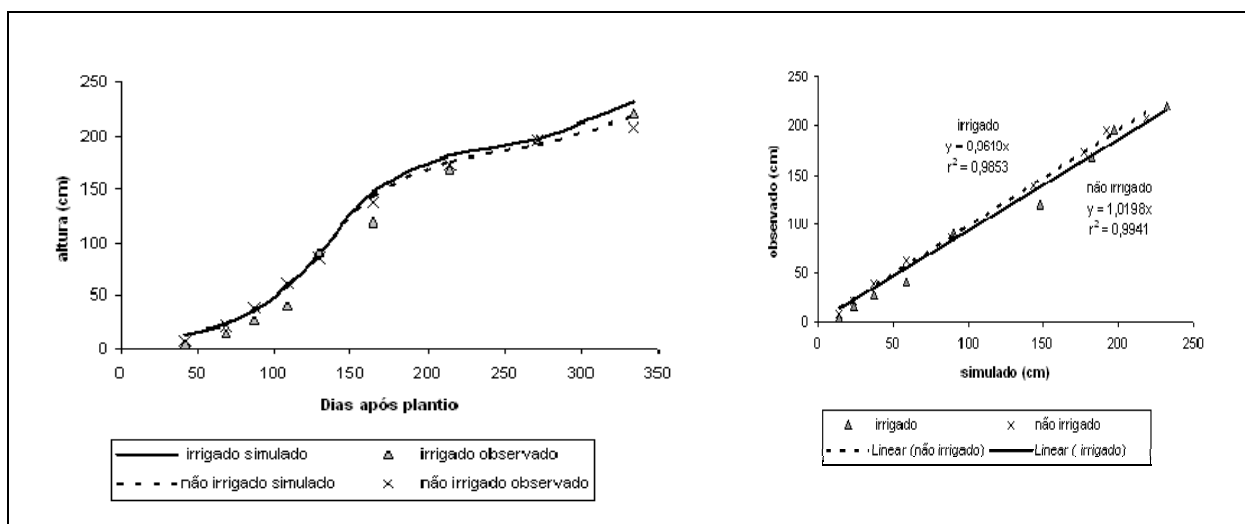


Figura 5 – Altura, em cm, da variedade NCo376 nas diferentes épocas de avaliação

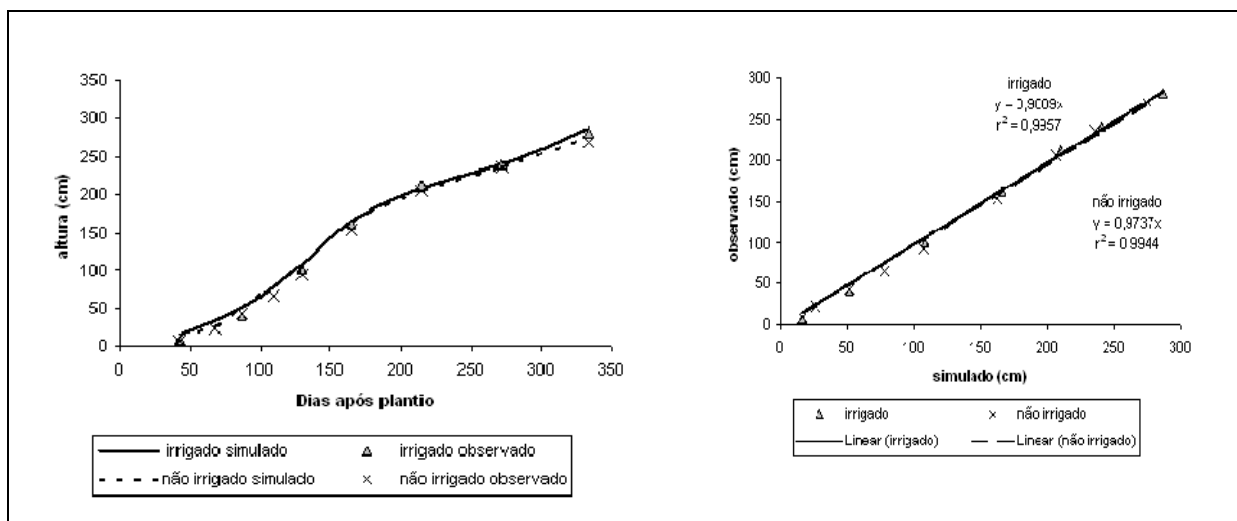


Figura 6 – Altura, em cm, da variedade SP83-2847 na área irrigada e não irrigada

3.3 Perfilamento

As variedades, no geral, tiveram sua população praticamente estabilizada próximo dos 87 DAP (figura 7 e 8). A curva foi diferente das encontradas por Inman-Bamber (1994), Bezuidenhout et al. (2003), Suguitani e Matsuoka (2001) entre outros, pois o pico de perfilamento não ficou evidente.

A NCo376, como esperado, foi o que apresentou o perfilamento mais intenso, chegando, no primeiro corte, com 17 perfilhos por metro linear na área irrigada e próximo de 15 na área sem irrigação (figuras 7 e 8). Essa variedade, geneticamente, produz muitos perfilhos de diâmetro fino.

As demais variedades apresentaram valores e uma curva semelhante. A única exceção foi a SP83-2847 em sua última avaliação, que iniciou um novo ciclo de perfilamento (brotões), em função do clima que precedeu a colheita, e com isso obteve um valor que seria acima de uma condição normal. Se essa variedade mantivesse a curva, as três variedades terminariam, na colheita, com 8 a 12 perfilhos por metro linear.

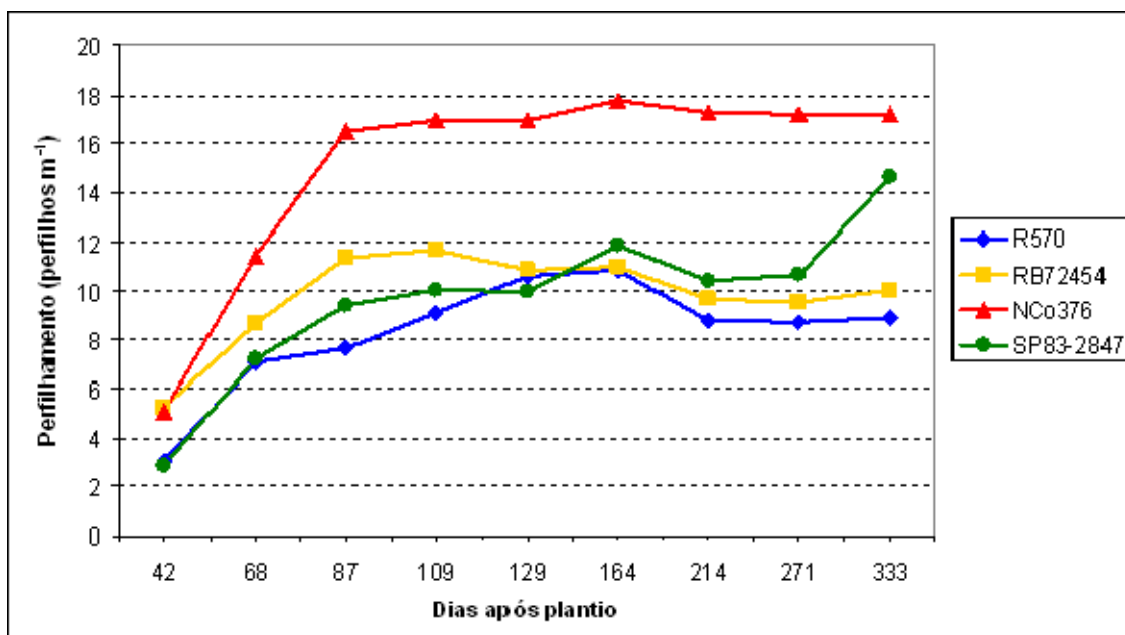


Figura 7 – Perfilhamento das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área irrigada observado no primeiro ano após plantio

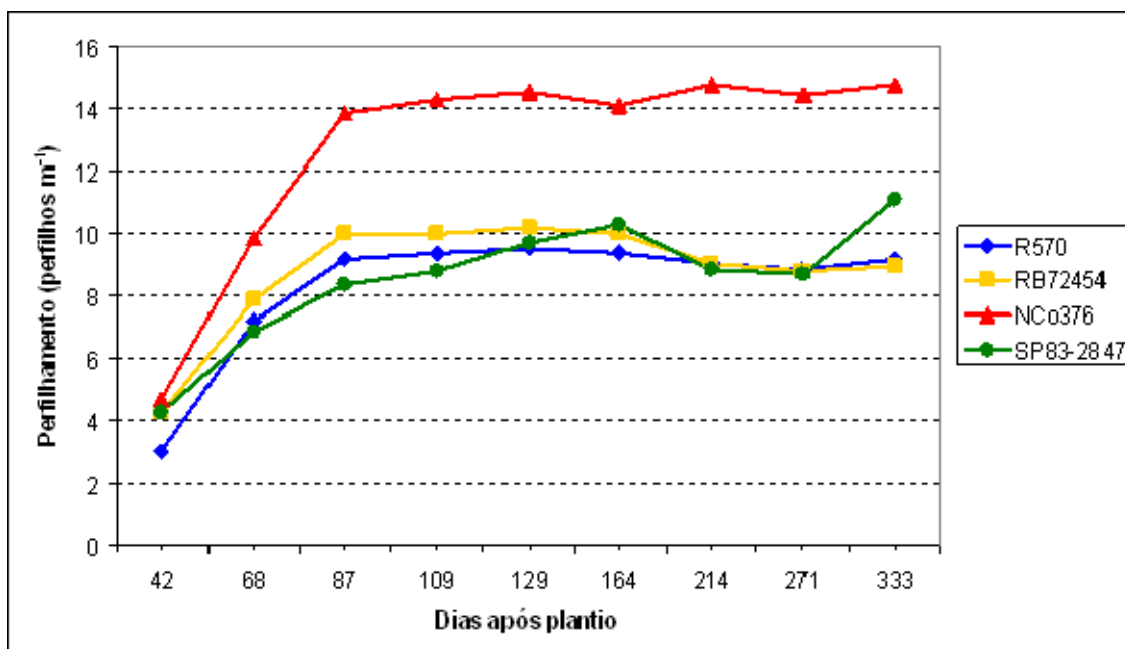


Figura 8 – Perfilhamento das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área não irrigada

3.4 Dinâmica foliar

A área foliar, o surgimento e a senescência das folhas são controladas pela temperatura (INMAN-BAMBER, 1994; BONNETT, 1998).

O número de dias para surgir uma nova folha variou de 5 (0,2 folhas dia⁻¹) a 10 (0,1 folhas dia⁻¹) para todas as variedades tanto na área irrigada quanto na não irrigada até os 164 DAP, posteriormente o número de dias se torna maior (figura 9 e 10).

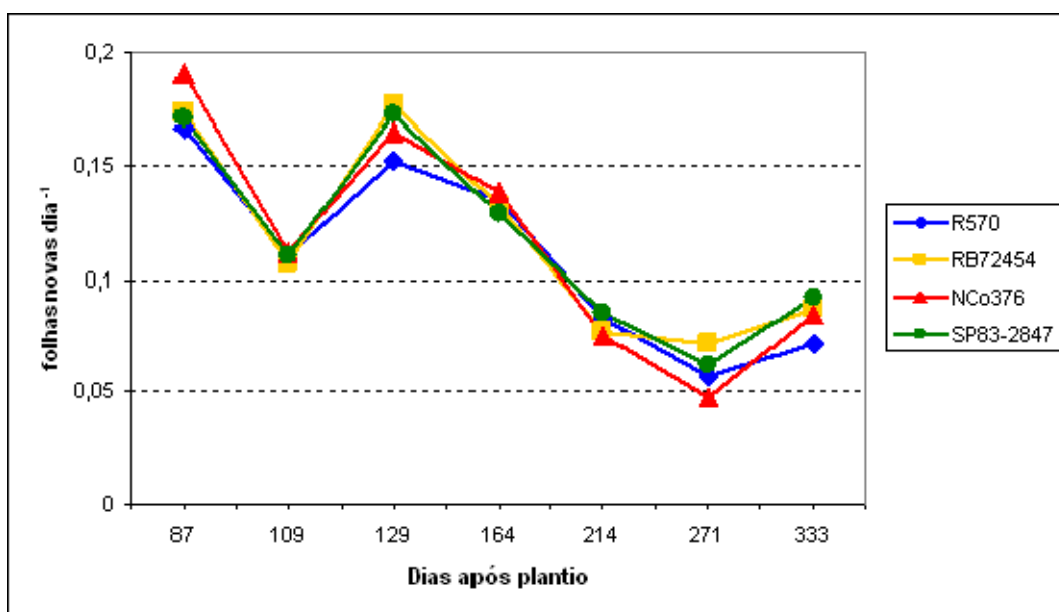


Figura 9 – Folhas novas por dia das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área irrigada

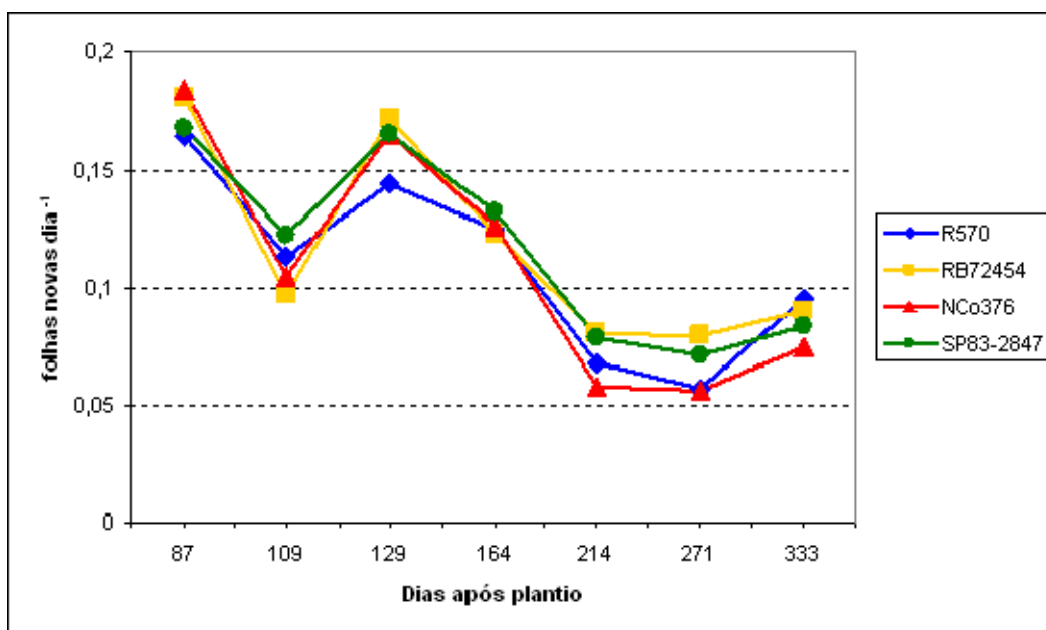


Figura 10 – Folhas novas por dia das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área não irrigada

O número de folhas verdes para as quatro variedades na área irrigada e na não irrigada variou de 5 a 9 em todo o ciclo, exceto na avaliação da R570 aos 214 DAP (figura 11 e 12), esses dados foram semelhantes aos encontrados por Sugitani (2001) e por Inman-Bamber (1994).

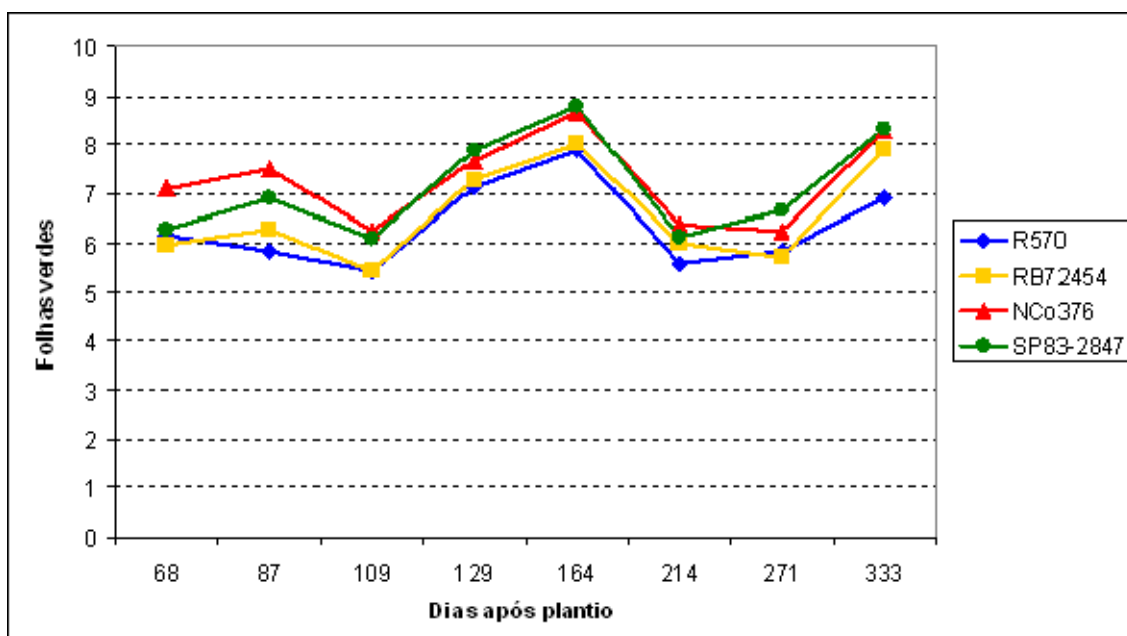


Figura 11 – Número de folhas verdes das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área irrigada

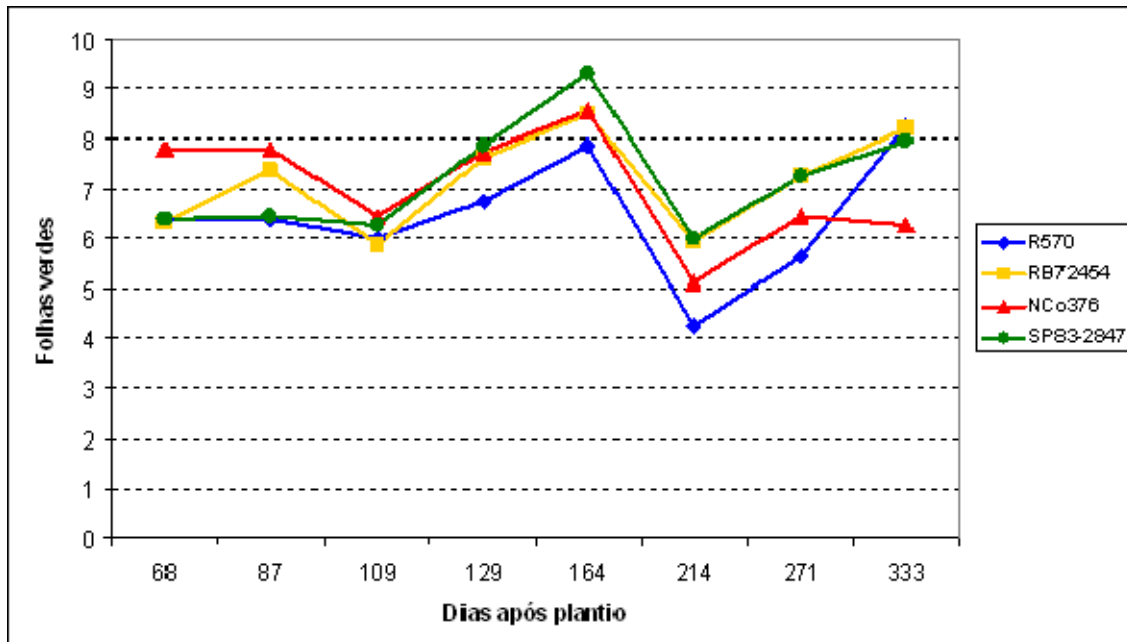


Figura 12 – Número de folhas das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 na área não irrigada

Em relação ao índice de área foliar (IAF), os valores encontrados tanto na área com e sem irrigação foram semelhantes. E os valores simulados ficaram próximos dos obtidos, mostrando valores de r^2 próximos de 1,0 (figuras 13 a 16 e tabela 5). O pico de IAF observado foi próximo dos 200 DAP, na simulação o pico ficou mais próximo de 250 DAP para as variedades R570, NCo376 e SP83-2847 e para a RB72454 foi encontrado aos 180 DAP.

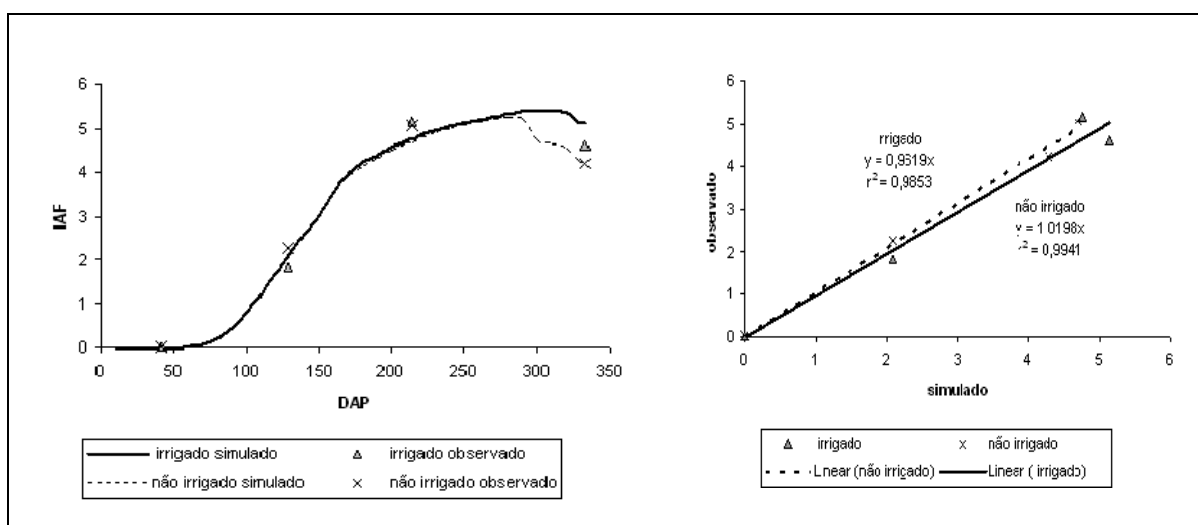


Figura 13 – Índice de área foliar simulada e observada, na área irrigada e não irrigada, para variedade R570

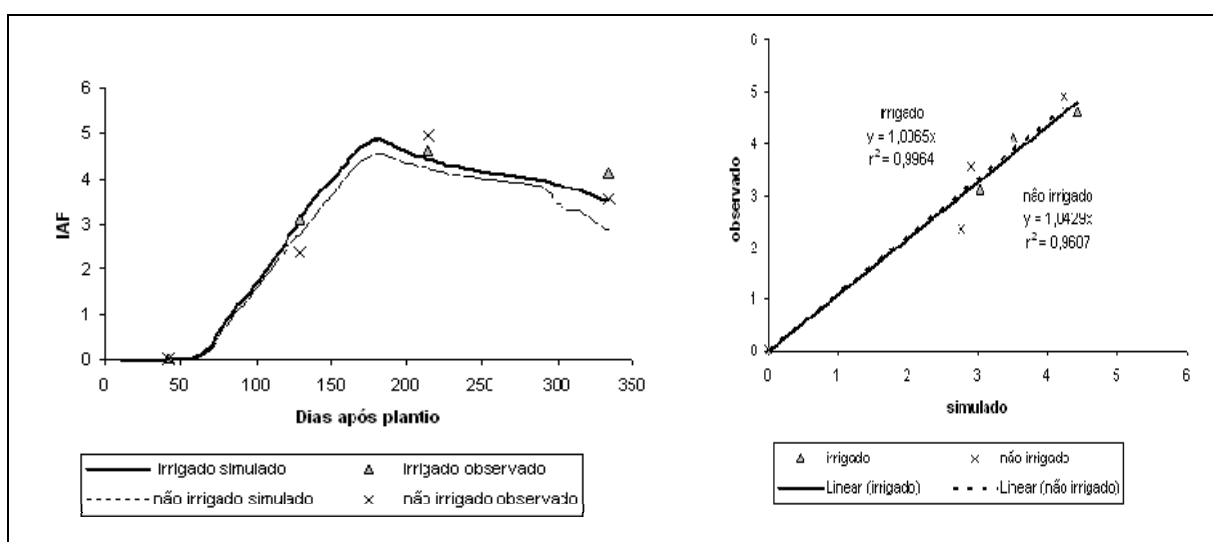


Figura 14 – Índice de área foliar simulada e observada, na área irrigada e não irrigada, para variedade RB72454

Em todos os casos o pico de IAF ficou próximo de 5, o que está de acordo com os valores encontrados em diferentes condições por Irvine (1983) e abaixo do pico encontrado por Robertson et al. (1996), que encontrou pico de 6 a 9.

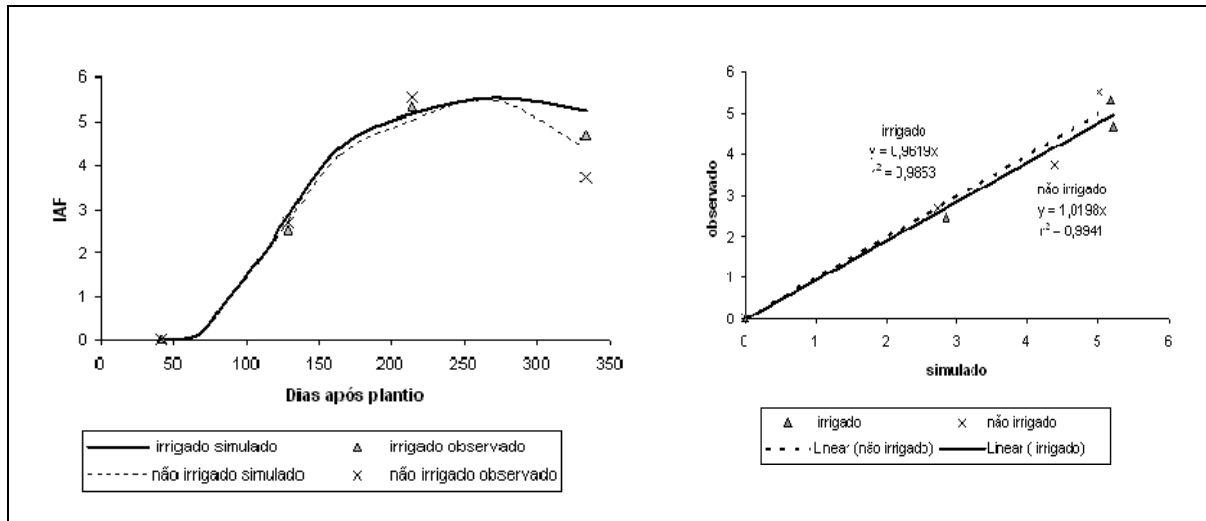


Figura 15 – Índice de área foliar simulada e observada, na área irrigada e não irrigada, para variedade NCo376 e os valores das regressões para os dados obtidos e simulados

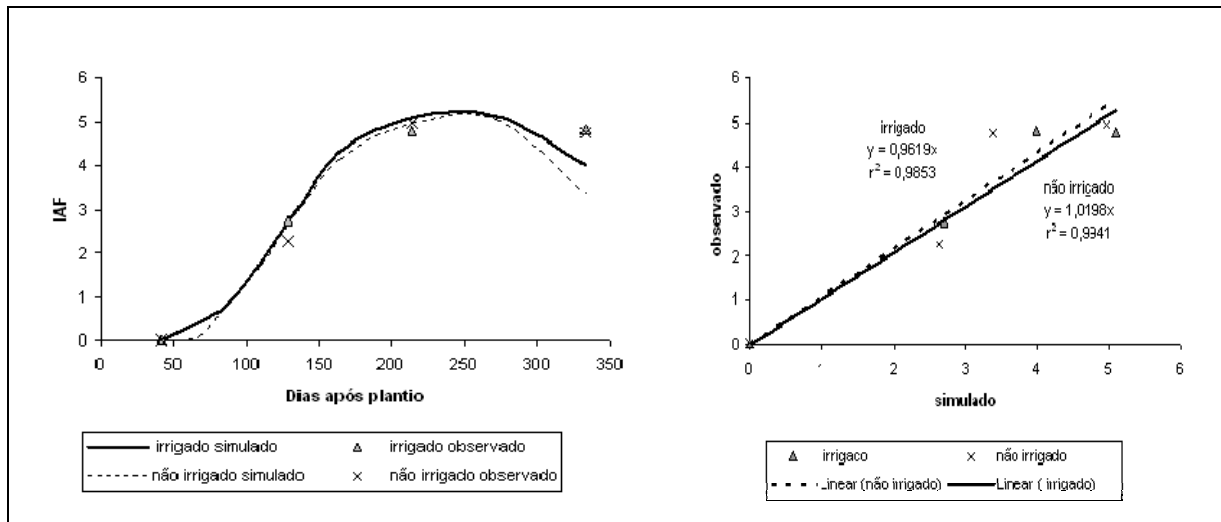


Figura 16 – Índice de área foliar simulada e observada para variedade SP83-2847 na área irrigada e não irrigada

Tabela 5 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b para a calibração do índice de área foliar das quatro variedades em estudo

Variedades	rmse	r^2	rse	a	b
R570	0,3	0,978	0,348	0,0±0,4	1,0±0,12
RB72454	0,43	0,967	0,37	-0,02±0,5	1,1±0,16
NCo376	0,385	0,968	0,418	-0,06±0,54	0,98±0,14
SP83-2847	0,59	0,92	0,64	0,09±0,9	1,03±0,24

3.5 Fitomassa da parte aérea

A irrigação não teve efeito nos valores de massa seca da parte aérea, de colmos e produtividade, apresentando valores semelhantes da área não irrigada.

A partir de 100 a 110 DAP todas as variedades apresentaram um crescimento linear acentuado do acúmulo de massa seca de colmos.

Os valores observados para matéria seca de parte aérea, massa seca de colmos e produção das variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 ficaram próximos dos simulados, o que se confirma pelos valores de r^2 obtidos serem todos maiores que 0,90 e a maioria maiores que 0,95 (tabelas 6 a 9 e figuras 17 a 24), além dos valores de a e b encontrados que também demonstram que o modelo simula muito bem o desenvolvimento das variedades em estudo.

Apesar dos valores observados para massa seca da parte aérea aos 214 e 271 DAP estarem um pouco superiores aos simulados pelo modelo para a R570, quando comparamos os valores na reta 1:1 notamos que os valores ficaram muito próximos da reta nas diferentes avaliações, novas avaliações serão realizadas na cana soca para fazer os devidos ajustes do modelo para massa seca de colmos da R570. Pois o modelo foi desenvolvido utilizando dados dessa variedade em Reunion e nessa ilha, segundo Martiné (2003), todos os valores simulados, em diferentes condições climáticas e de produção, ficaram próximos dos observados.

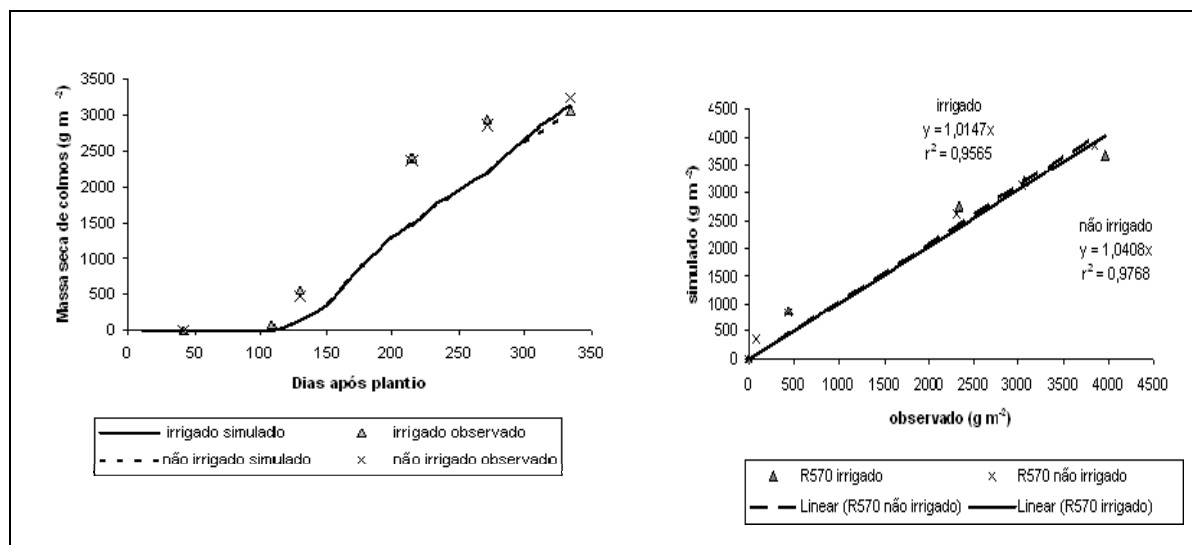


Figura 17 – Massa seca de colmos simulada e observada para variedade R570 com e sem irrigação

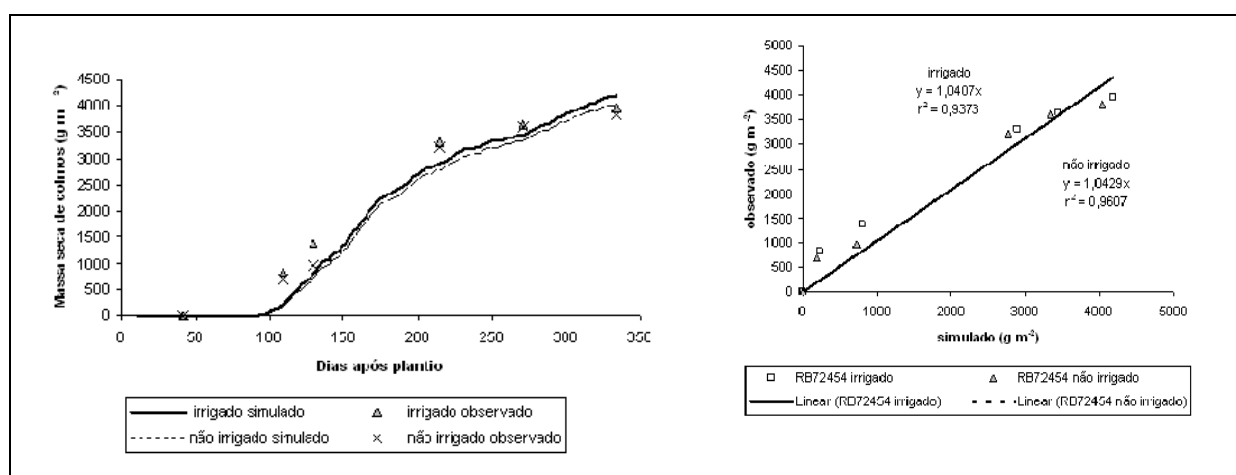


Figura 18 – Massa seca de colmos simulada e observada para variedade RB72454 com e sem irrigação

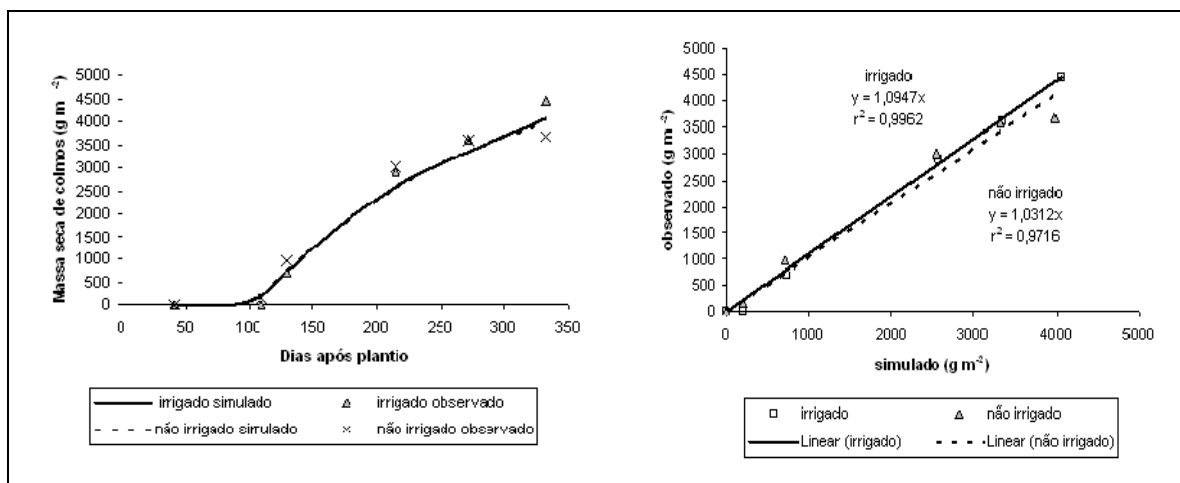


Figura 19 – Massa seca de colmos simulada e observada para variedade NCo376 com e sem irrigação

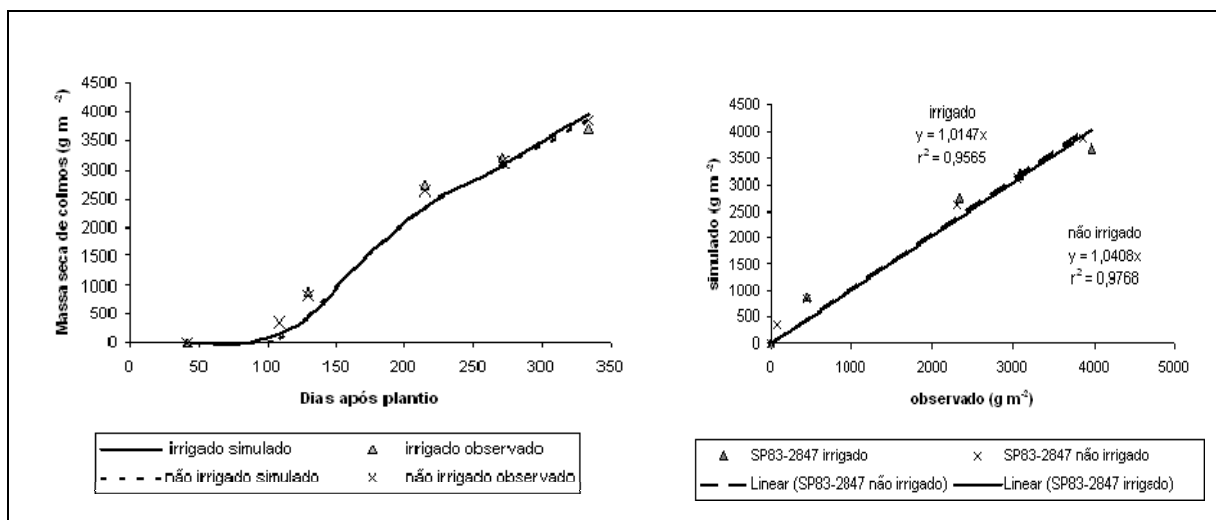


Figura 20 – Massa seca de colmos simulada e observada para variedade SP83-2847 com e sem irrigação

Pelo fato da massa seca de colmos representar um valor significativo da massa seca total da parte aérea, exceto nos primeiras semanas em que a massa de folhas é mais significativa, a curva da massa seca para parte aérea segue a mesma tendência da de colmos. No entanto, para a curva de massa seca para parte aérea torna-se mais acentuada logo aos 80 a 90 DAP.

Os valores de massa seca da parte aérea observada para a R570 estão acima da curva traçada pela simulação em algumas avaliações. Assim mesmo os valores encontrados pelas regressões ficaram próximas de 1,0.

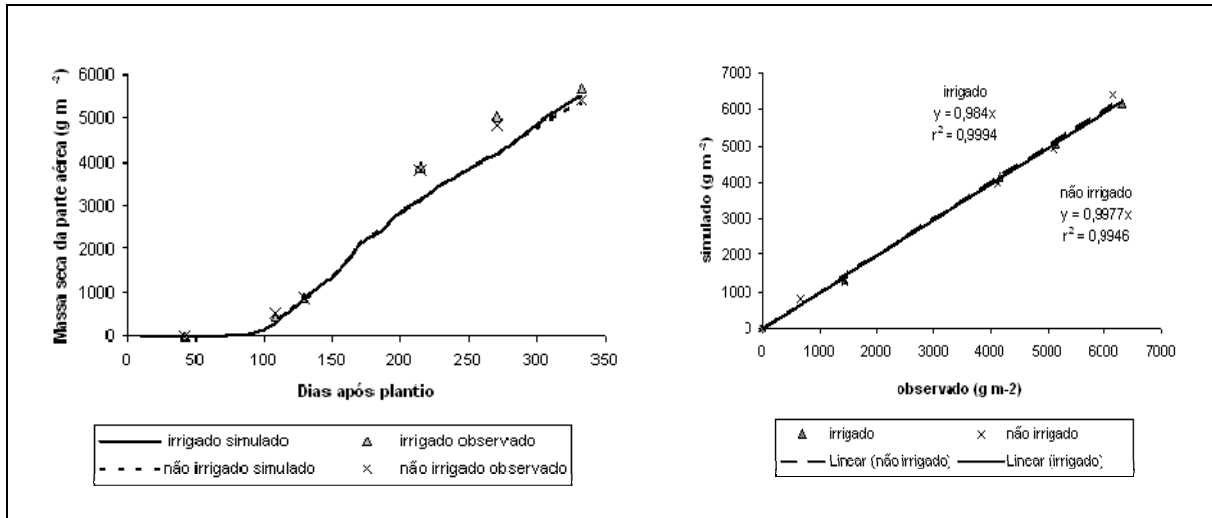


Figura 21 – Massa seca da parte aérea simulada e observada para variedade R570 com e sem irrigação

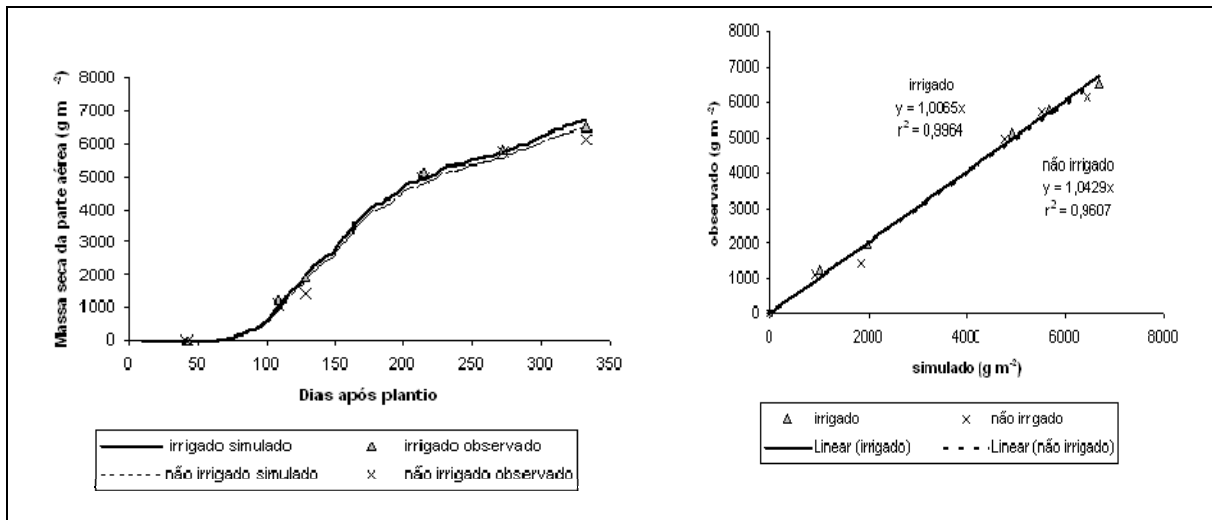


Figura 22 – Massa seca da parte aérea simulada e observada para variedade RB72454 com e sem irrigação

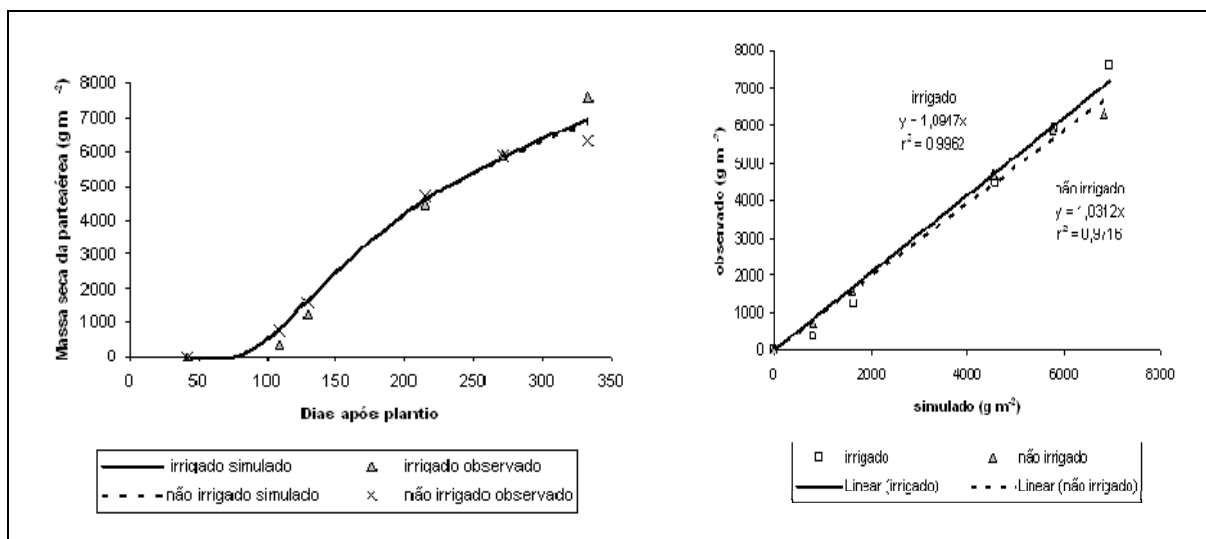


Figura 23 – Massa seca da parte aérea simulada e observada para variedade NCo376 com e sem irrigação

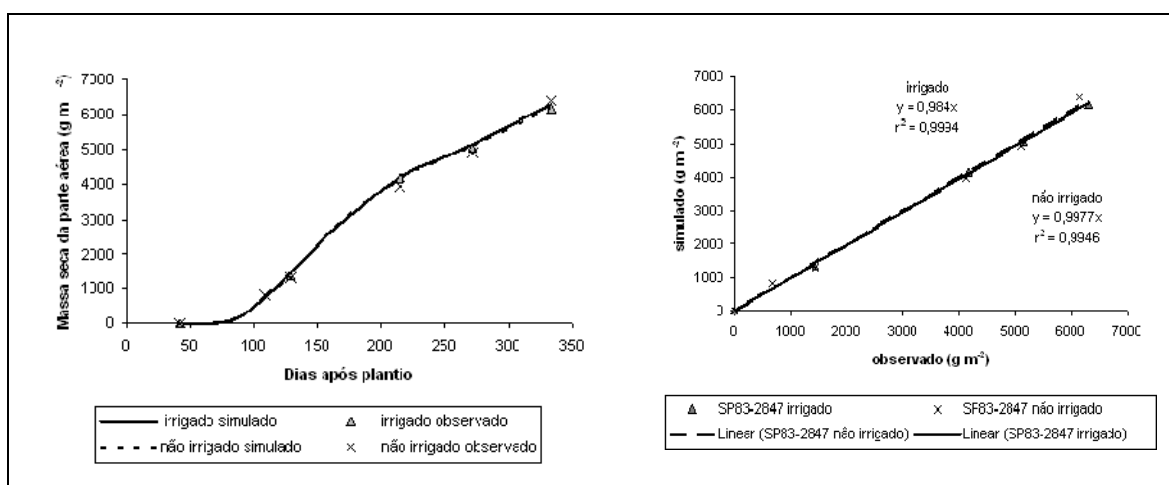


Figura 24 – Massa seca da parte aérea simulada e observada para variedade SP83-2847 com e sem irrigação

Em relação a produtividade, os valores obtidos de r^2 encontrados pela calibração foram acima de 0,98. A R570 teve produtividade média de 110 Mg ha⁻¹, a menor de todos as variedades, a RB72454 produziu entre 145 e 154 Mg ha⁻¹ a NCo376 obteve 138 e 158 Mg ha⁻¹ e a SP83-2847 alcançou a produtividade próximo de 140 Mg ha⁻¹.

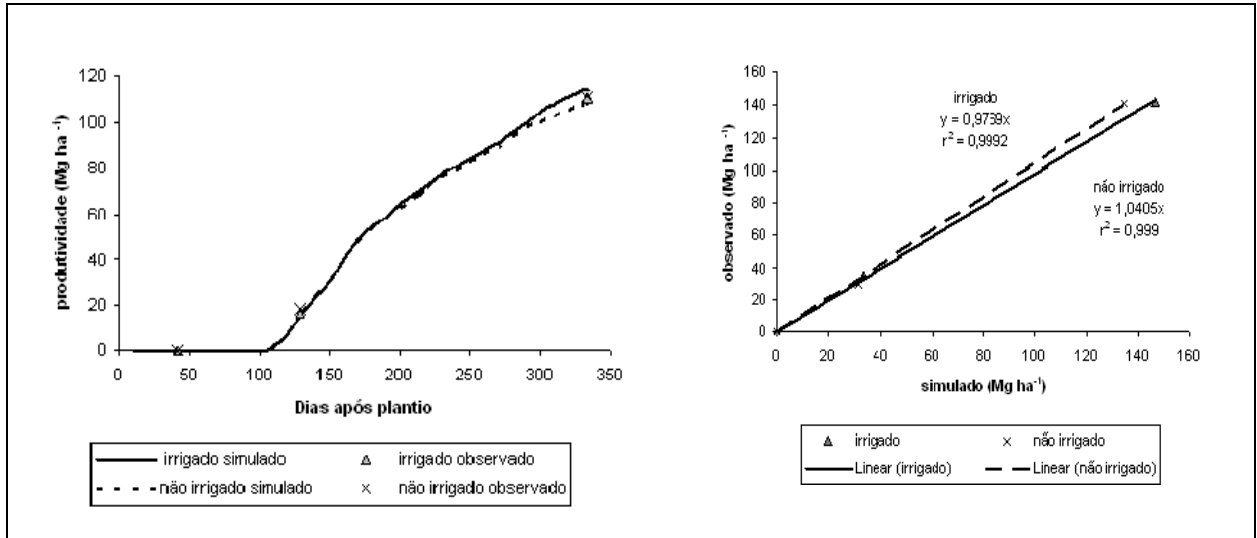


Figura 25 – Produtividade simulada e observada para variedade R570 com e sem irrigação

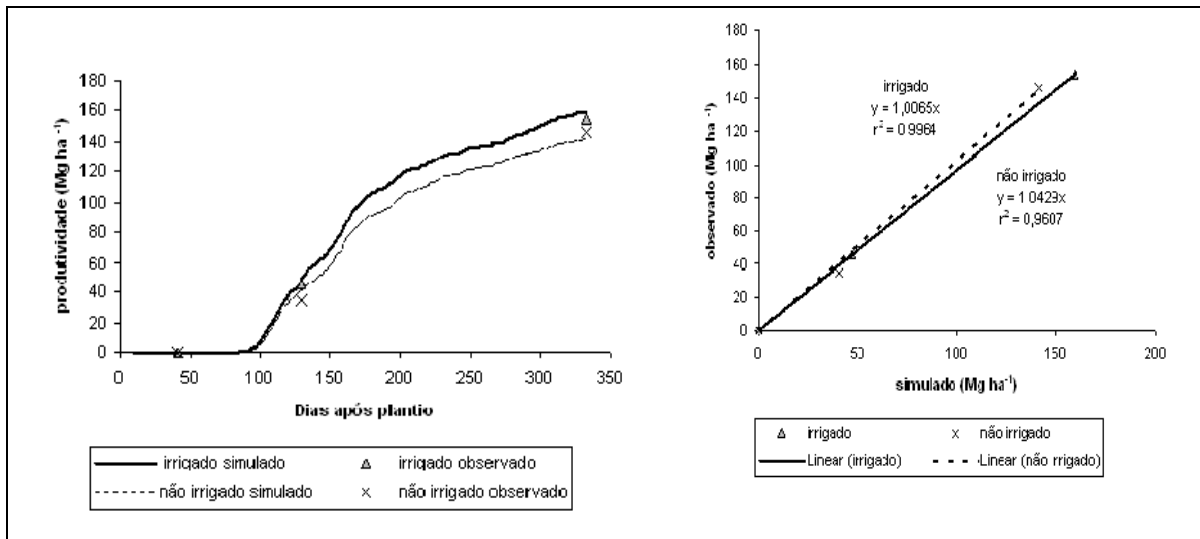


Figura 26 – Produtividade simulada e observada para variedade RB72454 com e sem irrigação

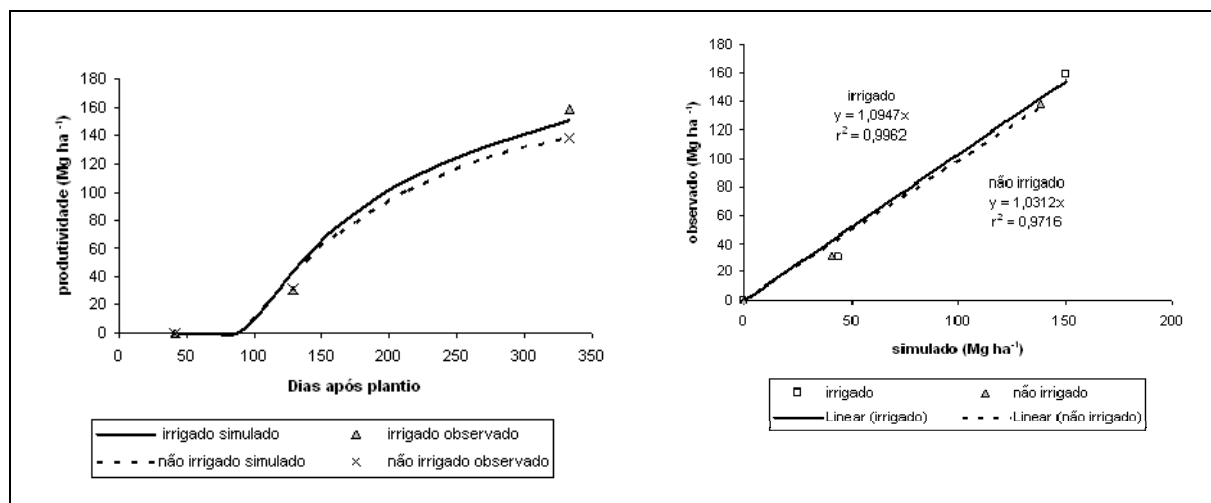


Figura 27 – Produtividade simulada e observada para variedade NCo376 com e sem irrigação

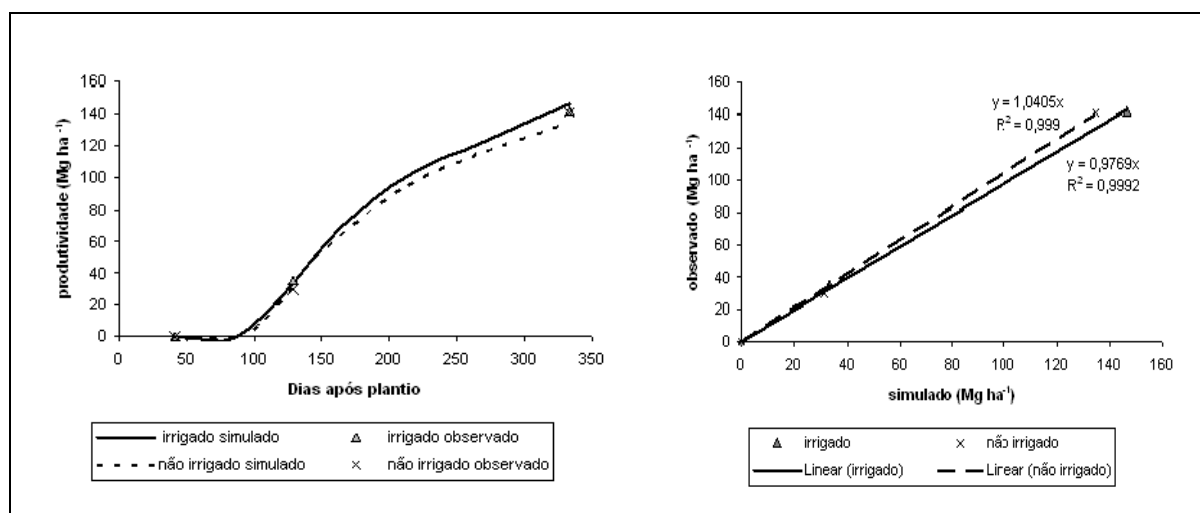


Figura 28 – Produtividade simulada e observada para variedade SP83-2847 com e sem irrigação

Tabela 6 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b obtidos na calibração do modelo Mosaic a partir dos dados observados para a variedade R570

Parâmetros	rmse	r^2	rse	a	b
Massa seca da parte aérea	413	0,986	294	-92±260	1,07±0,09
Massa seca de colmos	506	0,933	377	290±330	1,06±1,8
Produtividade	3,19	0,996	3,81	0,4±4	0,99±0,07

Tabela 7 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b obtidos na calibração do modelo Moticas a partir dos dados observados para a variedade RB72454

Parâmetros	rmse	r^2	rse	a	b
Massa seca da parte aérea	214	0,992	233	-39±124	0,99±0,06
Massa seca de colmos	359	0,973	273	364±240	0,93±0,1
Produtividade	3,61	0,997	4,08	-1,6±4,8	1,00±0,07

Tabela 8 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b na calibração do modelo Moticas a partir dos dados observados para a variedade NCo376

Parâmetros	rmse	r^2	rse	a	b
Massa seca da parte aérea	315	0,988	320	-189±300	1,03±0,08
Massa seca de colmos	254	0,983	238	-14±210	1,05±0,09
Produtividade	8,2	0,988	8,5	-6,3±10	1,05±0,12

Tabela 9 – Raiz quadrada do erro médio (rmse), r^2 , erro padrão do residual (rse) e valores de a e b obtidos na calibração do modelo Moticas a partir dos dados observados para a variedade SP83-2847

Parâmetros	rmse	r^2	rse	a	b
Massa seca da parte aérea	165	0,996	163	-15±150	0,98±0,04
Massa seca de colmos	252	0,985	195	257±165	0,93±0,08
Produtividade	3,75	0,996	4,55	-0,38±5,2	1,00±0,06

3.6 Parâmetros de calibração

O modelo Moticas elabora uma lista de parâmetros de acordo com a variedade que está sendo calibrada. Os diferentes parâmetros estão apresentados na tabela 10. Assim, ao final da calibração podemos observar as diferenças existentes entre as variedades e com isso trabalhar de forma individual nas diferentes condições, o que é muito importante para a cultura da cana-de-açúcar.

Tabela 10 – Valores dos diferentes parâmetros obtidos para as variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 utilizados na calibração do modelo Mosicas

(continua)

Parâmetros	unidade	R570	RB72454	NCo376	SP83-2847	
htvddeb	Início da alongação de colmos.	22	108	95	72	
htvdgro1	Somatória de graus-dias Taxa de alongação dos colmos (fase 1)	cm °C ⁻¹	0,035	0,084	0,094	0,054
htvdgro2	Taxa de alongação dos colmos (fase 2)	cm °C ⁻¹	0,187	0,223	0,329	0,196
htvdtb	Temperatura base de alongação do colmo	°C	23,7	22,3	25,5	21,5
htvdt1	Temperatura ótima de alongação do colmo	°C	40,5	32,9	37,6	32,7
laicroi	Taxa de aumento do IAF	°C ⁻¹	0,00378	0,00378	0,00378	0,00378
laideb	Início do aparecimento do IAF. Somatório de graus dias		500	500	500	500
laitb	Temperatura base do aumento do IAF	°C	12	11,4	11,4	11,4
psilb	Valor absoluto do potencial crítico de água na folha		8	8	8	8
ptigdeb	Início do aparecimento de colmos industrializáveis	g m ⁻²	200	200	287	200
ptigdec	Coefficiente de extinção por alocação diária da massa seca da parte aérea em massa seca dos colmos industrializáveis		1,16	1,29	4,83	1,06

Tabela 10 – Valores dos diferentes parâmetros obtidos para as variedades R570, RB72454, NCo376 e SP83-2847 utilizados na calibração do modelo Mosicas

(conclusão)

Parâmetros	unidade	R570	RB72454	NCo376	SP83-2847
ptigdec		1,16	1,29	4,83	1,06
ptigfin	g g ⁻¹	0,7	0,73	0,627	0,765
ruemax	g MJ ⁻¹	5,02	7,34	6,19	6,14
rueatk		0,0032	0,0072	0,0015	0,0049

As variedades RB72454 e SP83-2847 apresentam maior taxa de alocação da massa seca da parte aérea em colmos do que as demais, estrangeiras. O menor valor encontrado foi da NCo376.

Em relação ao eficiência no uso da radiação solar a R570 apresentou menor valor e a SP83-2847 apresentou o maior, sendo que as outras apresentaram valores semelhantes entre elas.

Htvdgro1 e htvdgro2 indica as duas fases de crescimento da cana-de-açúcar. O crescimento dos colmos é uma função linear do produto dos graus-dias do dia e de coeficiente hídrico de disponibilidade de água para o crescimento. Isto é uma simplificação do que ocorre na realidade. Durante a fase 1, o crescimento é limitado pelo perfilhamento e pela pequena área foliar por colmo e por isso o htvdgro1 é menor. Durante a fase 2, o crescimento não é mais limitado pelo perfilhamento e nem pela pequena área foliar de cada colmo, por isso o htvdgro é maior.

Os valores $htvdgro1$ e $htvdgro2$ encontrados para a NCo376 foram maiores, o que indicaria um maior crescimento dos colmos dessa variedade, mas em função da maior temperatura base e do número elevado de perfilhos o crescimento acabou sendo parecido com a das outras variedades.

O $ruemax$ foi maior para a RB72454, $7,34 \text{ g MJ}^{-1}$, o que indica que esta variedade apresenta uma melhor conversão da luz em fitomassa que as demais variedades. E o menor valor foi encontrado para R570 que apresentou um menor desenvolvimento no experimento. Os valores de $ruemax$ encontrados para as quatro variedades são superiores aos encontrados por Muchow et al. (1996) em variedades da Austrália.

4 CONCLUSÕES

O modelo Mosicas apresentou excelentes resultados, para todas as variedades em estudo, com valores simulados para massa seca da parte aérea, colmos, índice de área foliar, produtividade e altura semelhantes aos observados no campo, dessa forma o modelo mosicas têm bom potencial de uso para as condições brasileiras.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, A.G. **Sugarcane physiology**: a comprehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.
- ARIS, R. **Mathematical modelling techniques**. New York: Dover Publ., 1994. 269 p.
- BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**: um modelo matemático-fisiológico de estimativa. 1993. 142 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.
- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N.A. Evapotranspiração da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: STAB, 1981. p. 37-52.
- BARBIERI, V.; BACCHI, O.O.S.; VILLA NOVA, N.A. Espaçamento em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: STAB, 1981. p. 512-522.
- BARRETO, G.B.; ALVAREZ, R.; BICUDO, S.P.; ARRUDA, H.V. Resultados preliminares de irrigação de cana-de-açúcar pelo sistema de sulcos, em Latossolo Roxo. **Bragantia**, Campinas, v. 30, n. 21, p. 277-288, 1971.
- BERNARDES, M.S.; LIMA, S.F.F. **Densidade populacional, disposição e direção de linhas de plantio, manejo da copa**: a luz como fator essencial. Piracicaba: ESALQ, 2000. 55 p.
- BERNARDES, M.S.; TERUEL, D.A.; SPAROVEK, G.; DOURADO NETO, D. Modelos ambientais e sustentabilidade: planejamento ambiental integrado das bacias hidrográficas do município de Paty do Alferes, RJ. In: WORKSHOP NACIONAL DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL EM REGIÕES TROPICAIS DE RELEVO ACIDENTADO, 3., 1998, Paty do Alferes. **Planejamento ambiental integrado das bacias hidrográficas do município de Paty de Alferes, RJ**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1998. p. 1-3. (EMBRAPA. Boletim de Pesquisa, 9).
- BONNETT, G.D. Rate of leaf appearance in sugarcane, including a comparison of a range of varieties. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 25, p. 829-834, 1998.
- BEZUIDENHOUT, C.N.; O'LEARY, G.J.; SINGELS, A.; BAJIC, V.B. A process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 589–599, 2003.

BULL, T.A. Photosynthesis efficiencies and photorespirations in Calvin cycle and C4 – dicarboxylic acid plants. **Crop Science**, Madison, v. 9, p. 726-729, 1969.

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

CASTRO, P.R.C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 2001, Piracicaba. **Material preliminar ...** Piracicaba: STAB, 2001a. 1 CD-ROM.

CASTRO, P.R.C. Utilização de reguladores vegetais no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 2001, Piracicaba. **Material preliminar ...** Piracicaba: STAB, 2001b. 1 CD-ROM.

CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT. Improvement of productivity in the cane areas of La Réunion. In: _____. **Sugarcane program**. Paris, 1998. p. 40-49.

CESNIK, R.; VENCOVSKY, R. Expected response to selection, heritability, genetic correlations, and response to selection of some characters in sugarcane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., 1974, Durban. **Proceedings ...** Durban: ISSCT, 1974. p. 96-101.

COCK, J.H. Sugarcane growth and development. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 2001, Piracicaba. **Material preliminar ...** Piracicaba: STAB, 2001. 1 CD-ROM.

COMBRES, J.C.; MEZO, L.; MÉZINO, M.; NATIVEL, R. Enhancing irrigation management. In: CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT. **Annual report 2000**. Montpellier, 2001. p. 52-53.

DANIELS, J.; ROACH, B.T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, D.J. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84.

DELGADO-ROJAS, J.S.; BARBIERI V. Modelo agrometeorológico de estimativa da produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 67-73, 1999.

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugar cane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 p.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La canne à sucre**. Paris: Maisonneuve et Larose, 1970. 468 p.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2002**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2001. p.249-283: Cana-de-açúcar: plantio brasileiro derruba os preços.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GLASZIOU, K.T.; BULL, T.A.; HATCH, M.D.; WHITEMAN, P.C. Physiology of sugar-cane. VII. Effects of temperature, photoperiod duration, and diurnal and seasonal temperature changes on growth and ripening. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 18, p. 53-66, 1965.

HOLANDA FERREIRA, A.B. **Dicionário Aurélio básico da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1988. 687 p.

INMAN-BAMBER, N.G. A growth model for sugar-cane based on a simple carbon balance and the CERES-Maize water balance. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v. 8, n. 2, p. 93-99, 1991.

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

IRVINE, J.E. Sugarcane. In: SYMPOSIUM ON POTENCIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENT, 1980, Los Baños. **Proceedings ...** Los Baños: IRRI, 1983. p. 361-381.

ISOBE, M. Water utilization. II. Yield-water relationship. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 13., 1969, Taiwan. **Proceedings ...** Taiwan: ISSCT, 1969. p. 49-54.

KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J. MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems. I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, p. 253-271, 1999.

KEULEN, H. van. Evaluation of models. In: ARNOLD, G.W.; DE WIT, C.T. (Ed.). **Critical evaluation of systems analysis in ecosystems research and management**. Wageningen: PUDOC, 1976. p. 22-29.

LAVORENTI, N.A.; MATSUOKA, S. Combinação de métodos paramétricos e não-paramétricos na análise de estabilidade de cultivares de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 653-658, 2001.

LEME, E.J.A.; MANIEIRO, M.A.; GUIDOLIN, J.C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar. **Cadernos Planalsucar**, Piracicaba, v. 2, p. 3-22, 1984.

LEME, E.J.A. ; SACARDUA, R.; ROSENFELD, U. Consumo de água da cana-de-açúcar irrigada por sulcos de infiltração. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: STAB, 1981. p. 277-311.

LUMSDEN, T.G.; SCHULZE, R.E.; LECLER, N.L.; SCHMIDT, E.J. Assessing the potential for improved sugarcane yield forecasting using seasonal rainfall forecasts and crop yield models. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, Durban, v. 74, p. 131-139, 2000.

MACHADO, E.C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o amúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1981. 115p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1981.

MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 56-87.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; PAES CAMARGO, M.B.; FAHL, J.I. Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 44, p. 229-238, 1985.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, J.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MACHADO, E.C.; SANTOS, B.G.; CAMARGO, M.B.P.; BARBIERI, V.; MAGALHÃES, A.C.N. Análise de crescimento de duas variedades de cana-de-açúcar com e sem irrigação. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE LATINO-AMERICANA DE FISILOGIA VEGETAL, 9., 1983, Viçosa. **Resumos ...** Viçosa: UFV, 1983.

MARIOTTI, J.A. Associations among yield and quality components in sugarcane hybrid progenies. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 14., 1971, New Orleans. **Proceedings ...** New Orleans: ISSCT, 1971. p. 177-184.

MARTINÉ, J.F. **Modélisation de la production potentielle de la canne à sucre en zone tropicale, sous conditions thermiques et hydriques contrastées. Applications du modèle**. 2003. 130 p. Thèse (Docteur) – Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 2003.

MCCOWN, R.L.; HAMMER, G.L.; HARGREAVES, J.N.G.; HOLZWORTH, D.P.; FREEBAIRN, D.M. APSIM: a novel software system for model development, model testing, and simulation in agricultural research. **Agricultural Systems**, Essex, v. 50, p. 255–271, 1996.

MEDINA, E.; SAN JOSÉ, J.J.; SEQUEIRA, P.E. Análisis de la productividad en caña de azúcar. III. Respiración en la oscuridad de hojas y tallos de cinco variedades de caña de azúcar y pérdidas nocturnas de materia seca. **Turrialba**, San Jose, v. 20, p. 302-306, 1970.

MILLER, J.D.; JAMES, N.I. The influence of stalk density on cane yield. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., 1974, Durban. **Proceedings ...** Durban: ISSCT, 1974. p. 177-184.

MIOCQUE, J. Avaliação de crescimento e de produtividade de matéria verde da cana-de-açúcar na região de Araraquara-SP. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 45-47, 1999.

MONSI, M.; SAEKI, T. Über den lichtfaktor in den pflanzen-gesell-schaften und seine bedeutung für die Stoffproduktion. **Japanese Journal of Botany**, Tokyo, v. 14, p. 22-52, 1953.

MUCHOW, R.C.; CARBERRY, P.S. Environmental control of phenology and leaf growth in tropically adapted maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, p. 221-236, 1989.

MUCHOW, R.C.; DAVIS, R. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 18, p. 17-30, 1988.

MUCHOW, R.C.; SPILLMAN, M.F.; WOOD, A.W.; THOMAS, M.R. Radiation interception and biomass accumulation in a sugarcane crop grown under irrigated tropical conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 45, p. 37-49, 1994.

PEREIRA, A.R. Simulação do crescimento e produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais ...** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 200-209.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. Um simulador dinâmico do crescimento de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 1, p. 107-122, 1986.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PRADO, A.P.A. **Perfilhamento e produção da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em função da densidade de plantio**. 1988. 69 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

ROBERTSON, M.J.; WOOD, A.W.; MUCHOW, R.C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 11-25, 1996.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; INMAN-BAMBER, N.G.; WOOD, A.W. Relationship between biomass and sucrose accumulation in sugarcane. In: WILSON, J.R.; HOGARTH, D.M.; CAMPBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. (Ed.). **Sugarcane: research towards efficient and sustainable production**. Brisbane: CSIRO, 1996. p. 84-86.

ROSENFELD, U.; LEME, J.A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão: estudo de épocas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., 1984, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: STAB, 1984. p. 77-84.

SAN JOSÉ, J.J.; MEDINA, E. Análisis de la productividad de caña de azúcar. I. Crecimiento, desarrollo de la superficie foliar y contenido de clorofila de cana de azúcar 'PR 980'. **Turrialba**, San Jose, v. 20, n. 2, p. 143-148, 1970.

SCARDUA, R. **Clima e a irrigação na produção agroindustrial da cana-de-açúcar**. 1985. 122p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SCARDUA, R.; SOUSA, J.A.G.C.; LEME, E.J.A. Effect of soil water and environmental temperature on sugarcane (*Saccharum* spp.) yield irrigated by the sprinkler system. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 5., 1980, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: ABID, 1980. p. 177-185.

SHIMABUKU, M.; HIGA, K. Studies on the yield of sugarcane varieties with particular reference to the efficiency of the utilization of sunlight. Part 3. The effects of light extinction coefficient on some yield components in some sugarcane varieties. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., 1977, São Paulo. **Proceedings ...** São Paulo: ISSCT, 1977. p. 177-185.

SILVEIRA, J.A.G. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) cultivada em condições de campo**. 1985. 152 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 90-98, 1989.

SINGELS, A.; KENNEDY, A.J.; BEZUIDENHOUT, C.N. IRRICANE: a simple irrigation scheduling procedure for sugarcane using automatic weather stations. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, Durban, v.72, p.117-122, 1998

SINGELS, A.; KENNEDY, A.J.; BEZUIDENHOUT, C.N. Weather based decision support through the internet for agronomic management of sugarcane. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, Durban, v. 73, p. 30-32, 1999.

SKINNER, J.C. Application of quantitative genetics to breeding of vegetatively reproduced crops. **Journal of the Australian Institute Agricultural Science**, Melbourne, v. 47, n. 2, p. 82-83, 1981.

SOUZA, J.A.G.C.; SCARDUA, R. Furrow irrigation of sugarcane in Araras, São Paulo. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., 1977, São Paulo. **Proceedings ...** São Paulo: ISSCT, 1977. p. 1091-1111.

STEVENSON, G.C. **Genetics and breeding of sugar cane**. London: Longmans, 1965. 284 p.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar sob efeito do fósforo**. 2001. 79 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SUGUITANI, C.; MATSUOKA, S. Efeitos do fósforo nas características industriais e na produtividade agrícola em cana-de-açúcar (cana-planta) cultivada em duas regiões do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Ciência do solo: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade; resumos ...** Londrina: SBCS, 2001. p. 119.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology).

TODOROFF, P.; MARTINE, J.F.; BONHOMME, R.; CABIDOCHÉ, Y.M.; LECANU, G.; SOUMAYET, G. Modelling sugarcane growth. In: CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT. **Annual report 2000**. Montpellier, 2001. p. 48-51.

VRIES, F.W.T.P.de; JANSEN, D.M.; BERGE, H.F.M.ten; BAKEMA, A. **Simulation of ecophysiological process of growth in several annual crops**. Wageningen: Pudoc, 1989. 271 p.

WALDRON, J.C.; GLASZIOU, K.T.; BULL, T.A. The physiology of sugarcane. IX Factors affecting photosynthesis and sugar storage. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 20, p. 1043-1052, 1967.