

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS
REGIÕES NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL, UTILIZANDO O
MODELO DSSAT**

ANTHONY WELLINGTON ALMEIDA GOMES

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor
em Agronomia(Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP

Novembro - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS
REGIÕES NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL, UTILIZANDO O
MODELO DSSAT**

ANTHONY WELLINGTON ALMEIDA GOMES

Orientador: Prof. Dr. **João Carlos Cury Saad**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP
Novembro - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G633s Gomes, Anthony Wellington Almeida, 1983-
Simulação da produtividade de cana-de-açúcar nas regiões nordeste e sudeste do Brasil, utilizando o modelo DSSAT / Anthony Wellington Almeida Gomes. - Botucatu : [s.n.], 2012
xiv, 67 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

Orientador: João Carlos Cury Saad
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar. 2. Produtividade agrícola.
3. Irrigação. I. Saad, João Carlos Cury. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS
REGIÕES NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL, UTILIZANDO O
MODELO DSSAT"

ALUNO: ANTHONY WELLINGTON ALMEIDA GOMES

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

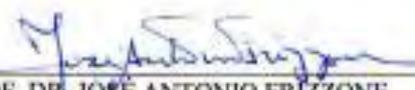
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ



PROF. DR. JOSÉ ANTONIO FRIZZONE



PROF. DR. TARLEI ARRIEL BOTREL



PROF. DR. ADALBERTO LUIZ DE PAULA

Data da Realização: 21 de novembro de 2012.

“MÃE QUERIDA”

-Hoje tenho o coração marcado pela tua ausência, mas a tua imagem permanecerá para sempre no coração deste que tanto te ama.

-Foi uma grande MÃE, uma heroína, fiel e sincera, sempre procurou me conduzir no caminho do saber, da honestidade e do respeito ao próximo.

Saudade eterna do seu filho Anthony Wellington Almeida Gomes.

Gedalva Almeida Gomes

(in memoriam)

**Este trabalho ofereço a ti, minha mãe;recebe-o onde possas estar.
Lembro-me de ti a todo instante, não há um segundo que não me venha à mente a tua feição, que me acalmava nos momentos de dificuldade. Obrigado por tudo!**

Aos meus genitores, **Wilson Gomes da Silva e Gedalva Almeida Gomes** (*in memoriam*): gostaria de expressar a paixão que cultivo pelos dois, através deste trabalho e de muitos que virão. Deixo eternizado o amor que sinto por essas duas pessoas!

Agradecimentos

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, pela oportunidade de os alunos estudarem na instituição, principalmente ao Departamento de Engenharia Rural, por dar-me condições de cursar o doutorado, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), agradeço o apoio no desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu irmão Tony Wilson Almeida Gomes, que superou algumas dificuldades e hoje é um psicólogo, deixando, tanto a mim como aos meus pais, totalmente orgulhosos pela sua conquista pessoal e profissional.

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural, Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz, Prof. Dr. Edmar José Scaloppi, Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa e Prof. Dr. João Luíz Zocoler, que contribuíram, de forma muito satisfatória, para meu crescimento intelectual e pessoal, o meu muito obrigado.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. José Antonio Frizzone (Mestrado) e Prof. Dr. João Carlos Cury Saad (Doutorado), o meu muito obrigado pela compreensão e pela dedicação à minha pessoa: agradeço também ao meu amigo e co-orientador neste trabalho, Prof. Dr. Allan Cunha Barros.

A todos os meus amigos e colegas, que contribuíram, de alguma forma, para a realização desta tese.

(Não faça de uma pessoa boa, ruim)

(Bata com o pé na boca, se a mão não alcança)

Gedalva Almeida Gomes

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE SÍMBOLOS..... | IX |
| LISTA DE FIGURAS..... | X |
| LISTA DE TABELAS..... | XI |
| RESUMO..... | XIII |
| SUMMARY..... | XIV |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 A cana-de-açúcar no Nordeste e no Sudeste do Brasil..... | 3 |
| 2.2 Característica das variedades de cana-de-açúcar utilizadas nas simulações..... | 4 |
| 2.3 Irrigação..... | 5 |
| 2.4 Irrigação em cana-de-açúcar..... | 5 |
| 2.5 Desempenho de produção da água na cana-de-açúcar..... | 7 |
| 2.6 Modelagem..... | 10 |
| 2.7 O modelo DSSAT/CANEGRO..... | 11 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 14 |
| 3.1 Localizações das regiões simuladas..... | 14 |
| 3.2 Dados edafoclimáticos..... | 14 |
| 3.3 Uso da calibração nas variedades utilizadas na simulação..... | 18 |
| 3.4 Descrição das simulações..... | 19 |
| 3.5 Análise estatística..... | 20 |
| 3.6 Modelo DSSAT..... | 21 |
| 3.7 Validação do modelo estudado (Real x Simulado)..... | 21 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 22 |
| 4.1 Análises das regiões..... | 22 |
| 4.1.1 Análise de produtividade da região de Bauru – SP..... | 22 |
| 4.1.2 Análise de produtividade da região de Jaú – SP..... | 29 |
| 4.1.3 Análise de produtividade da região de Teresina – PI..... | 35 |

| | |
|---|----|
| 4.1.4 Análise de produtividade da região de Petrolina – PE..... | 41 |
| 5 Validação do modelo e melhor época de plantio..... | 46 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 49 |
| 7 CONCLUSÕES..... | 50 |
| 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 51 |
| ANEXO 1..... | 56 |
| ANEXO 2..... | 59 |
| ANEXO 3..... | 62 |
| ANEXO 4..... | 65 |

LISTA DE SÍMBOLOS

ET_m - evapotranspiração máxima;

Y - produtividade de cana-de-açúcar;

Y_r - produtividade real;

Y_m - produtividade máxima;

ET_r - evapotranspiração real;

K_y - fator de sensibilidade da cultura à deficiência de água ou taxa de redução da produtividade;

a_1 - total de graus/dias durante o ciclo da cana-de-açúcar ;

a_5 - total de radiação líquida no ciclo da cana-de-açúcar;

RA - rendimento agrícola;

e_a - tensão atual de vapor d' água no ar;

e_s - tensão de saturação do vapor d' água no ar;

$(P_2O_5)_c$ - quantidade de fósforo à disposição da cultura;

$(P_2O_5)_o$ - quantidade de fósforo preconizada pelo IAC;

MST - matéria seca acumulada no fim do mês em questão;

MS_0 - matéria seca existente no início do mês;

Cr - coeficiente respiração de manutenção;

R - max - respiração máxima;

$Cr(t)$ - correção da r max em função da temperatura;

$Cr(i)$ - correção da r max em função da idade da planta;

Ms - matéria seca média mensal produzida por dia;

b - coeficiente angular, considerando-se as variedades;

Mg - megagrama = (1 tonelada ou 10^6g).

LISTA DE FIGURAS

| | Páginas |
|--|---------|
| Figura 1. Balanço hídrico da região de Bauru – SP. (Modificado de EMBRAPA, 2003).. | 25 |
| Figura 2. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha ⁻¹ , para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.. | 28 |
| Figura 3. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha ⁻¹ , para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.. | 29 |
| Figura 4. Balanço hídrico da região de Jaú – SP. (Modificado de EMBRAPA, 2003)..... | 32 |
| Figura 5. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha ⁻¹ , para variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano..... | 34 |
| Figura 6. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha ⁻¹ , para variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano..... | 35 |
| Figura 7. Balanço hídrico da região de Teresina – PI. (Modificado de EMBRAPA, 2003)..... | 37 |
| Figura 8. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha ⁻¹ , para variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano..... | 40 |
| Figura 9. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha ⁻¹ , para variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano..... | 40 |
| Figura 10. Balanço hídrico da região de Petrolina – PE. (fonte: EMBRAPA, 2003)..... | 43 |
| Figura 11. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha ⁻¹ , para variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano..... | 45 |
| Figura 12. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha ⁻¹ , para variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano..... | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | Páginas |
|---|---------|
| Tabela 1. Média dos dados climatológicos das estações da região Nordeste e Sudeste em 15 anos..... | 16 |
| Tabela 2. Característica física dos solos utilizados para a simulação..... | 18 |
| Tabela 3. Períodos de plantio e de colheita, durante 1,5 ano..... | 20 |
| Tabela 4. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e de açúcar, para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT..... | 23 |
| Tabela 5. Análise estatística da produtividade de colmo, para a região de Bauru - SP, Brasil, após simulação no modelo DSSAT e a % de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro..... | 26 |
| Tabela 6. Análise estatística da produtividade de açúcar, para a região de Bauru - SP, Brasil, após simulação no modelo DSSAT..... | 27 |
| Tabela 7. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e de açúcar, para a região de Jaú - SP, Brasil, após simulação no modelo DSSAT..... | 30 |
| Tabela 8. Análise estatística da produtividade de colmo, para a região de Jaú - SP, Brasil, após simulação no modelo DSSAT e a % de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro..... | 33 |
| Tabela 9. Análise estatística da produtividade de açúcar, para a região de Jaú - SP, Brasil, após simulação no modelo DSSAT..... | 33 |
| Tabela 10. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e de açúcar, para a região de Teresina - PI, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT..... | 36 |
| Tabela 11. Análise estatística da produtividade de colmo, para a região de Teresina - PI, Brasil, após simulação no modelo DSSAT e a % de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro..... | 38 |
| Tabela 12. Análise estatística da produtividade de açúcar para a região de Teresina - PI, Brasil, após simulação no modelo DSSAT..... | 39 |

| | |
|--|----|
| Tabela 13. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e de açúcar, para a região de Petrolina - PE, Brasil, após simulação no modelo DSSAT..... | 42 |
| Tabela 14. Análise estatística de produtividade de colmo, para a região de Petrolina - PE, Brasil, após simulação no modelo DSSAT e a % de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro..... | 44 |
| Tabela 15. Análise estatística da produtividade de açúcar, para a região de Petrolina - PE, Brasil, após simulação no modelo DSSAT..... | 44 |
| Tabela 16. Demonstrativo da produtividade real e da simulada para região de Jaú – SP..... | 46 |
| Tabela 17. Demonstrativo da produtividade real e da simulada para região de Teresina – PI..... | 47 |
| Tabela 18. Melhor época para plantio no ambiente de sequeiro e no irrigado para as regiões avaliadas..... | 48 |

RESUMO

Os modelos de previsão de produtividade são de grande importância no planejamento regional, dando subsídios para a avaliação econômica da implantação da cultura em um novo ambiente. O objetivo deste trabalho foi simular a produtividade potencial de colmo e de açúcar da cultura da cana-de-açúcar, nas regiões Sudeste (Bauru-SP e Jaú-SP) e Nordeste (Petrolina-PE e Teresina-PI), analisando quatro variedades em diferentes épocas de plantio, em dois ambientes: sequeiro e irrigado. O modelo de simulação adotado foi o DSSAT/CANEGRO (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) e as quatro variedades de cana-de-açúcar avaliadas foram: RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20 (todas em ciclo de 1,5 ano). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias, comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Em ambiente de sequeiro, recomenda-se o plantio da cana-de-açúcar de ano e meio em setembro e novembro para Bauru, SP, em setembro para Jaú, SP e em março para Teresina, PI. Em Petrolina, PE, o plantio em sequeiro não é indicado devido ao déficit hídrico prolongado por todo o ano. Em ambiente irrigado, não houve diferença da produtividade de colmo em função da época de plantio, para todas as variedades e em todas as regiões avaliadas. As produtividades de colmos e de açúcar foram sempre maiores no ambiente irrigado quando comparado com o de sequeiro, em todas as localidades e em todas as variedades avaliadas. O modelo de simulação gerou boa estimativa da produtividade de colmos e de açúcar quando comparado aos dados experimentais de Teresina, PI e de Jaú, SP.

Palavras - Chave: Modelagem, Irrigação, Produtividade, Cana-de-açúcar.

SUGARCANE PRODUCTIVITY SIMULATION IN REGIONS NORTHEAST AND SOUTHEAST OF BRAZIL, USING THE MODEL DSSAT

Botucatu, 2012. 67 p. Thesis (Doctor in Agronomy / Irrigation and Drainage) – Faculty of Agronomic Sciences, São Paulo State University.

Author: ANTHONY WELLINGTON ALMEIDA GOMES

Adviser: JOÃO CARLOS CURY SAAD

SUMMARY

The yield prediction models are of great importance in regional planning, providing subsidies for the crop implementation economic evaluation in a new environment. The aim of this study was to simulate the potential productivity of stem and sugar of sugarcane cultivated in the Southeast (Bauru-SP and Jau-SP) and Northeast (Petrolina-PE and Teresina-PI) regions, analyzing four varieties in different planting dates, in two environments: rainfed and irrigated. The simulation model was the CANEGRO / DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) and the four varieties of sugarcane evaluated were RB86 7515, CTC 4, 7 and CTC CTC 20 (all in a cycle of 1.5 year). The results were submitted to variance analysis and the means were compared by Tukey test, at 5% probability. In rainfed conditions, the results showed that sugarcane planting should be in September and November for Bauru, SP, in September for Jau, SP and in March for Teresina, PI. In Petrolina, PE, the planting was not indicated for rainfed conditions due to water deficit throughout the year. In irrigated environment, there was no difference in the stem productivity according to the planting date, for all varieties and in all regions evaluated. The productivities of stem and sugar were always higher in irrigated environment when compared to the rainfed, in all locations and in all varieties. The simulation model generated good estimate of stem and sugar yields compared to experimental data from Teresina, PI and Jau, SP.

Keywords: Modeling, Irrigation, Productivity, Sugarcane.

1 INTRODUÇÃO

A diversidade de clima e de solo no Brasil constitui característica que favoreceu o cultivo da cana-de-açúcar, tornando-a uma das principais culturas do país e alicerçando a economia nacional até os dias de hoje.

Estima-se que a cultura da cana-de-açúcar ocupe, no Brasil, aproximadamente 8,5 milhões de hectares, com previsão de produção em torno de 596,63 milhões de toneladas de colmos, na safra de 2012/2013. Os principais produtos gerados são o açúcar, com aproximadamente 38,99 milhões de toneladas, e o álcool, com cerca de 23,49 bilhões de litros (CONAB,2012). O setor sucroalcooleiro é de grande relevância também no contexto socioeconômico do País.

A agricultura empresarial caracteriza-se pelo uso de insumos e de práticas que visam a aumentar a produtividade, a assegurar a produção com qualidade, além de conservar o solo e os recursos hídricos.

A irrigação configura-se como uma das técnicas mais eficientes em gerar lucro, já que propicia o aumento da produção; porém tornou-se uma exigência que tais benefícios sejam alcançados por meio da utilização racionalizada dos recursos hídricos.

A adoção da prática de irrigar vem-se tornando mais e mais frequente, com o intuito de aumentar a produtividade dos canaviais, principalmente dos produtores da região Nordeste, área de históricos baixos índices pluviométricos. Já na região Sudeste, a prática contribui para assegurar a produção em períodos de veranicos. Nesse contexto, é de

vital importância utilizar modelos matemáticos, para simular a produtividade e avaliar o potencial do uso da irrigação e a variedade que melhor se adapte à região estudada.

Os modelos possibilitam prever situações futuras, embasando decisões que podem resultar em menores custos e maiores produtividades e tornar o plantio de determinada cultura economicamente viável para o produtor (HAMID e ABDULLAH, 2008).

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de simular a produtividade potencial de colmo e de açúcar da cultura de cana-de-açúcar nas regiões Nordeste (Petrolina e Teresina) e Sudeste (Bauru e Jaú), em diferentes épocas de plantio e em dois ambientes: sequeiro e irrigado, utilizando o modelo DSSAT /CANEGRO.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cana-de-açúcar no Nordeste e no Sudeste do Brasil

Nos últimos anos, a agroindústria sucroalcooleira vem passando por diversos problemas, entre eles, as estiagens. Associada a elas, que impõem deficiência hídrica à cultura, está a baixa produtividade. De fato, em 2011, os meses de agosto e setembro foram de baixas precipitações, inferiores à média de São Paulo, prejudicando o desenvolvimento e a brotação dos canaviais; em 2012, ocorreu o mesmo nos meses de fevereiro e março. Já no Nordeste, embora o clima tenha sido favorável ao desenvolvimento da cana-de-açúcar em 2011, ocorreu o inverso em 2012; como a seca não proporcionou umidade suficiente para a brotação da soqueira, os produtores passaram a utilizar a irrigação em seus canaviais (CONAB, 2012). O aumento da produção de cana-de-açúcar no Brasil não passa, necessariamente, pela ampliação da área cultivada, existindo outros caminhos, como o desenvolvimento de novas variedades e a implantação de sistemas de irrigação mais eficientes.

O estado de São Paulo constitui o maior produtor brasileiro de cana-de-açúcar, com 51,82% (4.419,46 mil hectares), seguido por Minas Gerais, com 8,46% (721,86 mil hectares), por Goiás, com 8,69% (741,38 mil hectares), pelo Paraná, com 7,13% (608,38 mil hectares), pelo Mato Grosso do Sul, com 6,50% (554,29 mil hectares), por Alagoas, com 5,26% (448,86 mil hectares), e Pernambuco, com 3,63% (309,74 mil hectares). Nos demais estados produtores, as áreas são menores, com representações abaixo de 3% (CONAB, 2012).

A produção total de açúcar está estimada em 38,99 milhões de toneladas, 8,41% maior que a produção da temporada passada. Dessa produção, 87,5% concentram-se nas usinas da região Centro-Sul, principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e nas usinas dos estados de Alagoas e de Pernambuco, na região Nordeste (CONAB, 2012).

De acordo com Santos (2005), a cana de ano e meio (18 meses), plantada no período entre janeiro e o início de abril, proporciona uma taxa de crescimento mínimo, ou mesmo nulo e negativo, nos meses de maio a setembro, em função das condições pouco favoráveis do inverno. Com o início das chuvas, aumentam a intensidade luminosa e a temperatura, determinando o maior desenvolvimento da cultura nos meses de outubro a abril, intensificado a partir de dezembro. Já Segundo Alfonsi et al (1987), os fatores ambientais que têm grande relevância na produção da cana-de-açúcar são: temperatura, luz, disponibilidade de água e de nutrientes.

2.2 Características das variedades de cana-de-açúcar utilizadas nas simulações

A variedade RB86 7515 é a mais utilizada dentre as variedades estudadas neste trabalho, tendo sido lançada pela Universidade Federal de Viçosa, a partir do cruzamento da variedade RB72454 com outra variedade indefinida (UDOP, 2012). O crescimento dessa variedade é rápido, de alta produtividade agrícola e curva de maturação semelhante à da RB722454. Deve ser plantada em solos de média/baixa fertilidade e colhida em meados da safra ou bem no final, para explorar o rápido crescimento. É tolerante à seca. De maneira geral, tem-se adaptado muito bem aos solos arenosos do estado de São Paulo e do Paraná, onde o florescimento ocorre em menor intensidade e favorece sua maturação (MARQUES, 2008).

A variedade CTC 4 (CTC, 2012) destaca-se pelo alto teor de sacarose e pela grande produtividade. É recomendada para colheita ao longo da safra toda, em ambientes de alto e médio potencial de produção. Apresenta fibra baixa, médio florescimento e baixa isoporização. Já a variedade CTC 7 destaca-se pelo alto teor de sacarose e pela

precocidade. É recomendada para colheita no início da safra, em ambientes de alto e médio potencial de produção. Apresenta fibra média, pouco florescimento e pouca isoporização.

A variedade CTC 20 tem, como destaque, a alta produtividade, o elevado perfilhamento e o rápido fechamento. O teor de fibra é baixo, apesar de alto o de sacarose, recomendando-se a variedade para colheita durante toda a safra. As soqueiras apresentam excelente brotação e longevidade, inclusive na colheita mecanizada de cana crua. Pode ser cultivada também no sistema de cana de ano e é bastante responsiva, ou seja, com adaptação aos ambientes de médio e alto potencial de produção. Floresce e isoporiza pouco nas condições do Centro-Sul, enquanto floresce muito nas condições do Nordeste.

2.3 Irrigação

As plantas necessitam de água para desenvolver-se; por isso a máxima produtividade só ocorre quando se aplica a água na quantidade adequada e nos momentos oportunos. Cada cultura tem sua própria necessidade de água, que varia conforme as fases de desenvolvimento da cultura e o clima. O bom desenvolvimento da cultura requer uma adequada proporção de água e de ar no solo.

Assim sendo, a irrigação constitui uma das técnicas eficiente na geração de lucro, devido ao aumento da produção. Como decorrência, tornou-se necessário que tais benefícios sejam alcançados pela utilização racional dos recursos hídricos (SAAD, 2009).

2.4 Irrigação em cana-de-açúcar

Praticamente toda a cana-de-açúcar produzida no estado de São Paulo é cultivada sem irrigação. Essa tecnologia começa a ser mais empregada em áreas de expansão, onde há insuficiência ou má distribuição de chuvas. No estado de São Paulo, onde se pratica o chamado plantio de ano e meio, ou plantio de ano, não se utiliza a irrigação. O chamado plantio de inverno, com ocorrência no período seco, requer a irrigação de salvamento como segurança, com recomendação de duas lâminas de 30 a 40 mm de água, sendo pouco utilizada na região Sudeste (CGEE, 2009).

No entanto Evans et al. (2007) salientam que os requisitos para o projeto e o manejo em áreas úmidas podem ser diferentes daqueles para zonas áridas, não sendo as técnicas adequadas a uma área necessariamente apropriadas a outra.

O uso da irrigação tem maior necessidade na região Nordeste, onde se verificam longos períodos de estiagem. Para remediar, pratica-se a irrigação de salvamento, após o plantio da cana-de-açúcar, ou a “irrigação suplementar”, para suavizar os déficits hídricos. O desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar mais resistentes a períodos de seca irá contrabalançar esse requisito da irrigação adicional (BERNARDO, 2007).

A irrigação complementar, ou suplementar, da cana-de-açúcar é, hoje, uma das alternativas utilizadas pelos produtores para equilibrar a produção dessa cultura no litoral norte da Paraíba; contudo ela é utilizada sem o planejamento apropriado para a área, ou sem o manejo adequado da água na cultura, já que os produtores carecem de conhecimento da parte fisiológica da cultura da cana-de-açúcar irrigada (FARIAS et al., 2008).

Segundo Scaloppi (1986), o objetivo final de qualquer atividade agrícola é atingir o máximo retorno econômico líquido. A uniformidade de irrigação, as práticas de programação da irrigação, o custo da água, o preço dos produtos, a redução da produtividade pelo déficit e pelo excesso de água e os danos causados por excesso de irrigação, incluindo a possível contaminação das fontes de água, constituem fatores importantes, que afetam o retorno econômico de um sistema de produção irrigado. Esses fatores, na verdade, afetam a seleção de um sistema de irrigação.

O uso da irrigação localizada está aumentando rapidamente em todo o mundo, principalmente pela ocupação de áreas anteriormente irrigadas por sistemas de irrigação por superfície (COELHO, 2007). Com o aumento da demanda pelos recursos hídricos limitados e a necessidade de minimizar as consequências ambientais da irrigação, essa tecnologia irá desempenhar um papel ainda mais importante no futuro (DASBERG ; OR, 1999).

2.5 Desempenho da água na produção de cana-de-açúcar

O desempenho dos modelos propostos por pesquisadores quanto à relação entre a água e a produtividade, representa a estimativa de produção, em estudo de Função de Produção, na agricultura irrigada do Brasil.

Doorenbos e Kassam (1979) propuseram um modelo empírico para a quantificação da relação entre a produtividade e a água, sob a forma da expressão:

$$1 - \frac{Y_r}{Y_m} = K_y \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m} \right) \quad (1)$$

em que: Y_r – produtividade real;

Y_m – produtividade máxima;

ET_r – evapotranspiração real;

ET_m – evapotranspiração máxima;

K_y – fator de sensibilidade da cultura à deficiência de água ou taxa de redução da produtividade.

Scardua (1985) usou o modelo de função de produção, proposto por Doorenbos e Kassam (1979), em experimentos de cana-de-açúcar irrigada, realizada durante 11 anos no município de Araras – SP. Obteve a seguinte função de produção:

$$Y = 0,0620 + 0,6610x_1 + 0,2762x_2 - 0,0306x_3 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,744.$$

Em que: $Y = \left(1 - \frac{Y_r}{Y_m} \right)$ estimado;

$$X1 = \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m} \right) \text{do } 1^{\circ} \text{ estágio};$$

$$X2 = \left(1 - \frac{ETr}{ETm}\right) \text{do } 2^{\circ} \text{ estágio}$$

$$X3 = \left(1 - \frac{ETr}{ETm}\right) \text{do } 3^{\circ} \text{ estágio}$$

Scardua (1985) também estudou a relação entre a produção máxima (Y_m) e diversos elementos de clima, como graus/dias, índice de área foliar, comprimento do dia e radiação líquida, obtendo o melhor ajuste quando considerou o efeito conjunto dos graus/dias e da radiação líquida. O autor determinou a seguinte equação para estimar a produção agrícola máxima (Y_m):

$$Y_m = -15,5521 + 0,03886a_1 + 0,00082a_5 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,862$$

Em que:

Y_m – produtividade máxima estimada em $t \text{ ha}^{-1}$;

a_1 – total de graus dias durante o ciclo da cana-de-açúcar;

a_5 – total de radiação líquida no ciclo da cana-de-açúcar em cal cm^{-2} ;

Ometto (1974) propôs uma equação para estimar o rendimento da cana-de-açúcar, em função de parâmetros climatológicos e de nutrientes, ou seja:

$$RA = -132,91 + 59,81 \left(\frac{ETr}{ETm}\right) + 198,62 \left(\frac{e_a}{e_s}\right) + 2,67 \left[\frac{(P_2O_5)c}{(P_2O_5)o}\right] \quad (4)$$

Em que:

RA – rendimento agrícola ($t \text{ ha}^{-1}$);

ET_r – evapotranspiração real;

ET_m – evapotranspiração máxima ou potencial;

e_a – tensão atual de vapor d'água no ar;

e_s – tensão de saturação do vapor d'água no ar;

$(P_2O_5)_c$ – quantidade de fósforo à disposição da cultura;

$(P_2O_5)_o$ – quantidade de fósforo preconizada pelo IAC.

Barbieri (1993) desenvolveu um modelo matemático-fisiológico de estimativa de produção potencial da cana-de-açúcar, considerando as variações da fotossíntese e da respiração. O autor propôs a seguinte equação para determinar o acúmulo potencial da matéria seca (MST):

$$MST = MS_o \cdot Cr^n + \left[MS \cdot \left(\frac{Cr^n - 1}{Cr - 1} \right) \right] \quad (5)$$

Em que: MST – matéria seca acumulada no fim do mês em questão, (kg.ha⁻¹);

MS_o – matéria seca existente no início do mês (kg ha⁻¹), considerando as perdas de folhas e de colmos;

Cr – coeficiente respiração de manutenção (termo subtrativo);

$Cr = 1 - r \max \cdot Cr(t) \cdot Cr(i)$;

Em que:

$r\max = 0,023 \text{ g g}^{-1}$ – respiração máxima;

$Cr(t)$ – correção da $r \max$ em função da temperatura;

$Cr(i)$ – correção da $r \max$ em função da idade da planta;

n – número de dias do mês;

MS – matéria seca média mensal produzida por dia (kg ha⁻¹).

O autor afirma que os resultados de MST obtidos podem ser transformados em toneladas de colmos por hectare pela seguinte equação de regressão linear:

$$Y = b \cdot x \quad (6)$$

Em que: Y – produtividade de colmos (t ha⁻¹);

x – MST (t ha⁻¹);

b – coeficiente angular considerando-se as variedades:

| | | |
|------------|------------|-----------------|
| CP5122 | $b = 2,07$ | $r = 0,98^*$ |
| CB4176 | $b = 1,99$ | $r = 0,88^{**}$ |
| CB47355 | $b = 2,22$ | $r = 0,91^{**}$ |
| NA5679 | $b = 2,27$ | $r = 0,94^{**}$ |
| Variedades | $b = 2,12$ | $r = 0,80^{**}$ |

2.6 Modelagem

Há décadas, a complexidade inerente ao planejamento e ao manejo de sistemas de irrigação e drenagem vem justificando o desenvolvimento de modelos como ferramenta de apoio à tomada de decisão (Skaggs, 1999; Tarjuelo; Juan, 1999). Essa complexidade decorre do grande número de variáveis e de processos envolvidos no sistema solo-água-planta-atmosfera.

Segundo Dourado Neto et al. (1998), os modelos representam uma esforço para modernizar a informação, constituindo uma eficiente ferramenta para aprender mais sobre sistemas complexos. Por isso mesmo configuram-se como mecanismos de transformação do conhecimento em informação útil e de transferência desse conhecimento para terceiros, já que propiciam melhor entendimento sobre as interações entre a água e o sistema solo-planta-atmosfera.

Com a disseminação dos computadores e o estabelecimento da informática em escala mundial, ocorreu, aos seres humanos, a necessidade de desenvolver técnicas para introduzir, no mundo virtual as informações e as vivências do mundo real. Essa estrutura criou a possibilidade de desenhar e de codificar modelos, com fins de entradas e saídas, através de ferramentas de software (PAVAN, 2009).

É de grande importância a introdução de modelos agrícolas, por incorporarem os resultados de um experimento agrícola de forma prática, adequando-os a um conjunto de informações. As simulações permitem estimarem-se várias condições de produção agrícola, considerando-se várias condições ambientais prováveis. Dessa forma, os modelos permitem que o produtor tome decisões e que se motive à escolha das melhores culturas, ou variedades, e da melhor forma de manejo, de modo a atenuar os prejuízos que possam advir

das condições adversas de cultivo. Como se vê, os modelos agrícolas possibilitam, ao produtor, determinar os riscos que podem ocorrer à cultura implantada em cada região agrícola, funcionando como preciosa ferramenta no planejamento de políticas públicas de seguros (GODOY, 2007).

O início da modelagem aconteceu em meados da década de 1970; para a cultura da cana-de-açúcar, ocorreu em três países: Bull e Tovey (1974) iniciaram na Austrália, gerando o APSIM – Sugarcane e o QCANE (LIU; BULL, 2001); Thompson (1976), na África do Sul, desenvolveu um modelo relacional simples, precursor do atual modelo DSSAT/CANEGRO (BEZUIDENHOUT, 2000; INMAN-BAMBER; KIKER, 1997), enquanto, no Brasil, Ometto (1974) deu o primeiro passo até o SIMCANA (PEREIRA; MACHADO, 1986) e o MST (BARBIERI, 1993). Os modelos já evidenciavam a importância da informação sobre a qualidade da matéria-prima, embora, de início, só priorizassem o crescimento, não avaliando os processos envolvidos na maturação (O’LEARY, 2000).

Existem, atualmente, em uso, dois modelos principais de simulação de cana-de-açúcar, segundo O’Leary (2000): o APSIM (Agricultural Production System Simulator)- sugarcane, desenvolvido pela unidade de pesquisa australiana de sistemas de produção agrícola CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) (O’LEARY et al., 1999) e o CANEGRO (sugar CANEGROWthmodel), desenvolvido pela associação sul-africana do açúcar (INMAN-BAMBER, 1995). O modelo CANEGRO foi incluído no Sistema para Suporte à Decisão de Transferência de Agrotecnologia (“Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT version 3.1”), uma plataforma computacional (suite - conjunto de aplicativos) de modelos. O CANEGRO Versão 3.1 tem sido usado nas Américas, na África e na Ásia. Esses dois modelos, desenvolvidos independentemente, têm origens similares.

2.7 O modelo DSSAT/CANEGRO

Inicia-se no começo da década de 1970, através do desenvolvimento de equações de fotossíntese e de respiração para a cana-de-açúcar no “Department of Theoretical Production Ecology, Agricultural University”, Wageningen, Holanda. Inicialmente, os modelos de respiração e fotossíntese foram agrupados em um único modelo

de simulação, o denominado CANESIM, em 1991, na Estação Experimental da Associação Sul-Africana de Açúcar (South African Sugar Association Experiment Estation, SASEX) (INMAN-BAMBER, 1991).

Segundo Jones et al. (2003), o sistema de suporte às decisões sobre a transferência de agrotecnologia (DSSAT) tem a função de simular o crescimento e o desenvolvimento de 16 culturas, armazenando os resultados em seu banco de dados, a partir de informações sobre o solo, o clima, o manejo e os aspectos genéticos da cultura estudada.

Segundo Inmam-Bamber (1995), a composição do modelo ocorre através do balanço de carbono, em função do desenvolvimento da cultura. Dessa forma, o modelo limita-se a contabilizar a água, a temperatura da biomassa da cultura estudada e a radiação, sem considerar o efeito da nutrição. O desenvolvimento do modelo CANEGRO, inicialmente, foi movido pela necessidade de determinar a idade da colheita no período ótimo, na África do Sul, por conta de pragas que atacavam os colmos de alto teor de açúcares. De fato, devido ao ataque de 1994, incluiu-se, no modelo, um módulo de simulação de sacarose. O modelo obteve um desempenho aceitável em simular a produção de açúcares, na comparação entre os dados obtidos em duas regiões da África do Sul (INMAM-BAMBER, 1994).

As principais características do modelo DSSAT/CANEGRO, segundo Singels et al. (2008), tomando como base a fisiologia de crescimento e o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, adicionando a fenologia, são: o desenvolvimento do dossel, o perfilhamento, o acúmulo de biomassa, o crescimento das raízes, o acamamento da cultura e o estresse hídrico. Singels et al. (2008) também apresentam, como principal propriedade do modelo: (1) emergência do perfilhamento primário, simulado quando a ocorrência de exigência térmica foi acumulada a partir do plantio ou do corte; (2) início do crescimento de colmos, simulado quando a exigência térmica é alcançada, a partir do perfilhamento primário, e (3) pico de perfilhamento, simulado quando há um período de tempo térmico acumulado desde a emergência.

No modelo, a fase de perfilhamento vai da emergência dos primeiros perfilhos até o pico de perfilhamento; já o crescimento de colmos, do início do crescimento até a colheita, enquanto a fase de senescência de perfilhos é simulada do pico de perfilhamento até a colheita. Quanto ao florescimento, o modelo DSSAT não o simula.

A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa é calculada de acordo com a lei de Beer, que utiliza valores de índice de área foliar total e índice de área foliar de folhas verdes para o cálculo da evapotranspiração, utilizando o modelo de Penman-Monteith seguindo a parametrização FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

O modelo DSSAT utiliza-se de módulos de clima e de tempo, dos quais faz leituras e gera dados diários, sobre a temperatura máxima, a mínima, a radiação solar e as precipitações; a partição de solo é caracterizada por um perfil unidimensional e por diferentes camadas verticais (JONES et al., 2003).

Segundo Barros (2011), cada modelo tem inúmeras vantagens e limitações; nessa direção, o modelo Apsim sobressai, por trazer um software com grande número de módulos auxiliares para a simulação. Como exemplos, citam-se as simulações do crescimento, do uso da água, do acúmulo de nitrogênio, do peso seco de açúcar e do peso fresco de colmos, em resposta ao clima, ao solo, ao manejo e aos fatores genotípicos da cultura a estudar. O uso do modelo DSSAT/CANEGRO é devido ao seu simples emprego, o tornando um modelo de fácil compreensão ao usuário que irá empregar para o futuro prognóstico de sua lavoura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localizações das regiões simuladas

As simulações sobre a produtividade de cana-de-açúcar foram realizadas para os municípios de Bauru – SP (latitude $22^{\circ} 18' 54''$ S e longitude $49^{\circ} 03' 39''$ O e altitude 526 metros); Jaú – SP (latitude $22^{\circ} 17' 44''$ S e longitude $48^{\circ} 33' 28''$ O e altitude 541 metros); Petrolina-PE (latitude $09^{\circ} 23' 34''$ S e longitude $40^{\circ} 30' 28''$ O e altitude 376 m) e Teresina-PI (latitude $05^{\circ} 05' 20''$ S e longitude $42^{\circ} 48' 07''$ O e altitude 72 m).

A utilização dessas regiões teve base na diferença climatológica entre elas e no fato de ter como atividade econômica o plantio da cana-de-açúcar para o setor sucroalcooleiro brasileiro, as duas primeiras, na região Sudeste, enquanto as duas últimas na região Nordeste. Utilizaram-se dados de entrada referente ao clima, ao solo e à planta. Para realizar as simulações, utilizou-se o modelo DSSAT/CANEGRO (Decision Support System for Agrotechnology Transfer).

3.2 Dados edafoclimáticos

Os dados utilizados para realizar as simulações foram obtidos de estações meteorológicas e cedidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Paulista de

Tecnologia dos Agronegócios (APTA – Jaú). Procurou-se, usar, com o mínimo possível de falhas, os dados climatológicos.

As séries de dados foram de 15 anos, assim distribuídos por localidade: para Bauru – SP, 1997 a 2011; para Jaú – SP, 1996 a 2009; para Teresina – PI, 1942 a 1956, 1966, 1967, 1976 a 1978 e para Petrolina – PE, 1971 a 1978 e 2002 a 2008.

Para realizar as simulações, o modelo utiliza dados climatológicos diários de Temperatura Máxima ($^{\circ}\text{C}$), Temperatura Mínima ($^{\circ}\text{C}$), Radiação Solar Global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e Precipitação (mm), dados físico do solo e fisiológicos da cultura.

Foi realizado um diagnóstico inicial das condições médias e extremas das variáveis meteorológicas, apresentadas na Tabela 1, caracterizando-se a região de Petrolina como de baixa precipitação durante todo o ano; de fato, a precipitação média mensal só atinge valores maiores nos meses de janeiro, fevereiro e março, ficando o valor médio de precipitação anual próximo a 607,60 mm, com média mensal de 50,63 mm. Já Teresina apresentou, nesses 15 anos, uma precipitação média anual de 1362,31 mm, com média mensal de 113,53 mm, sua maior parte distribuída nos meses de dezembro a maio.

Em Petrolina – PE, as temperaturas máximas apresentaram-se superiores a 30°C , na maior parte do ano, mostrando-se os meses de outubro e novembro os mais quentes da região, enquanto julho, o mais frio. Já Teresina apresentou-se com temperaturas que superaram os 31°C durante todo o ano, sendo o mês de outubro o mais quente, chegando à temperatura de $35,67^{\circ}\text{C}$, enquanto junho e julho, os mais frios. Em ambas as regiões, a radiação oscilou de 16 a $22 \text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

A região de Bauru apresentou-se com baixa precipitação durante os meses de junho e agosto, atingindo a precipitação mensal valores maiores que a média apenas nos meses de novembro a março. Já a região de Jaú tem comportamento semelhante à de Bauru, havendo período de baixa precipitação nos meses de junho a agosto e maiores de novembro a março, no decorrer dos 15 anos de dados.

Tabela 1. Média dos dados climatológicos das estações da região Nordeste e Sudeste em 15 anos.

| | Meses | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|----------|---------|----------|----------|--------|
| | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maio | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro | |
| Bauru SP | Tmáxima* | 27,95 | 29,88 | 29,41 | 28,37 | 24,89 | 24,59 | 24,80 | 27,12 | 28,10 | 29,14 | 29,52 | 29,81 |
| | Tmínima* | 19,93 | 19,65 | 19,28 | 17,62 | 14,45 | 13,91 | 13,66 | 14,43 | 15,89 | 17,10 | 17,94 | 19,10 |
| | Precipitação* | 324,53 | 132,30 | 92,77 | 48,66 | 43,52 | 23,90 | 41,99 | 26,78 | 46,21 | 87,24 | 115,74 | 166,42 |
| | Radiação* | 18,63 | 19,47 | 18,11 | 15,85 | 13,65 | 12,60 | 12,98 | 16,01 | 17,81 | 20,03 | 20,87 | 20,36 |
| Jaú SP | Tmáxima* | 29,95 | 30,72 | 30,62 | 29,50 | 26,23 | 25,83 | 26,19 | 28,25 | 29,47 | 30,53 | 30,39 | 30,37 |
| | Tmínima* | 19,62 | 19,55 | 18,95 | 16,97 | 13,07 | 12,47 | 12,20 | 13,46 | 14,99 | 17,08 | 17,66 | 18,87 |
| | Precipitação* | 282,49 | 167,86 | 122,80 | 57,16 | 61,11 | 37,48 | 38,79 | 29,33 | 56,93 | 89,35 | 132,94 | 193,39 |
| | Radiação* | 16,36 | 17,06 | 15,95 | 14,12 | 12,59 | 12,42 | 12,08 | 13,84 | 14,26 | 15,47 | 16,11 | 17,17 |
| Petrolina PE | Tmáxima* | 31,56 | 32,12 | 32,01 | 31,17 | 30,28 | 29,44 | 29,21 | 30,36 | 32,02 | 33,41 | 33,46 | 32,47 |
| | Tmínima* | 22,64 | 22,54 | 22,65 | 22,10 | 21,14 | 19,78 | 18,93 | 18,87 | 20,26 | 21,57 | 22,19 | 22,10 |
| | Precipitação* | 193,30 | 92,21 | 109,60 | 56,44 | 25,51 | 6,07 | 4,15 | 1,85 | 4,73 | 2,79 | 57,01 | 53,94 |
| | Radiação* | 18,76 | 20,68 | 19,64 | 17,80 | 17,03 | 16,13 | 16,78 | 19,22 | 21,38 | 22,62 | 22,63 | 21,66 |
| Teresina PI | Tmáxima* | 31,65 | 32,38 | 31,97 | 31,82 | 31,80 | 32,36 | 32,99 | 34,47 | 35,58 | 35,67 | 34,83 | 33,25 |
| | Tmínima* | 22,69 | 22,54 | 22,60 | 22,59 | 22,37 | 21,12 | 20,13 | 19,95 | 21,77 | 23,05 | 23,47 | 23,08 |
| | Precipitação* | 254,29 | 218,76 | 301,63 | 225,02 | 96,75 | 11,10 | 6,16 | 8,37 | 8,10 | 25,41 | 65,99 | 140,73 |
| | Radiação* | 17,52 | 19,25 | 18,50 | 17,30 | 16,12 | 16,76 | 18,31 | 20,91 | 21,81 | 21,50 | 20,28 | 19,08 |

*Tmáxima e Tmínima - Temperatura máxima e Temperatura mínima - (°C)

*Precipitação - (mm)

*Radiação - (MJ.m⁻².dia⁻¹)

Em Bauru, as temperaturas máximas não chegaram aos 30 °C na maior parte do ano; no entanto, os meses de dezembro, fevereiro e março chegaram a atingir 29 °C, caracterizando-os como os mais quentes para a região, sendo junho e julho os mais frios. Jaú apresentou temperaturas máximas entre 25 e 30°C durante todo o ano, sendo os meses de fevereiro e março os mais quentes, enquanto junho e julho, os mais frios. Ambas as regiões apresentam uma menor radiação nos meses de junho e julho, sem interferência.

O solo utilizado no modelo para a região de Teresina foi o Argissolo Vermelho-Amarelo; para Petrolina, o Latossolo Vermelho Amarelo, enquanto para Bauru e Jaú, o Latossolo Vermelho Escuro, característico dessas regiões. Apresentam-se, na Tabela 2, as características físicas dos solos utilizados para alimentar o modelo.

As informações sobre a característica física do solo foram obtidas do trabalho de Barros (2011), para a região de Piauí, de Bassoi et al. (2001), para a de Petrolina e de Uribe (2010), para de Jaú. No modelo DSSAT/CANEGRO, as condições químicas do solo não são simuladas (INMAN-BAMBER, 1994).

Devido à dificuldade em conseguir dados das regiões estudadas, buscaram-se, na literatura, informações sobre os solos; por esse motivo, não houve uma padronização de coleta nem das profundidades analisadas. Apesar disso, no preenchimento do solo, adotou-se a profundidade máxima como 1,65 m, conforme adotado por Barros (2011).

Os valores de capacidade de campo, de ponto de murcha e de densidade do solo, ou seja, as informações necessárias para determinar a disponibilidade de água no solo, foram calculadas pelo modelo.

Tabela 2. Característica física dos solos utilizados para a simulação.

| Regiões | Camada (m) | Argila (%) | Silte (%) | Areia (%) | Massa específica do solo (kg.dm ⁻³) |
|-----------|---------------|---------------|--------------|--------------|---|
| Bauru | 0,0 – 0,20 | 27 | 7 | 66 | 1,54 |
| | 0,20 – 0,40 | 34 | 6 | 60 | 1,4 |
| | 0,40 – 0,80 | 40 | 7 | 53 | 1,34 |
| Jaú | 0,0 – 0,20 | 27 | 7 | 66 | 1,54 |
| | 0,20 – 0,40 | 34 | 6 | 60 | 1,4 |
| | 0,40 – 0,80 | 40 | 7 | 53 | 1,34 |
| Piauí | 0,0 – 0,15 | 13,6 | 7,8 | 78,6 | 1,63 |
| | 0,15 – 0,35 | 22,6 | 9,8 | 67,6 | 1,71 |
| | 0,35 – 0,65 | 29,6 | 9,7 | 60,7 | 1,54 |
| | > 0,65 | 26,6 | 12,6 | 60,8 | 1,49 |
| Petrolina | 0,2 – 0,4 | 7,0 | 2,0 | 91,0 | 1,44 |
| | 0,4 – 0,6 | 13,0 | 4,0 | 83,0 | 1,47 |
| | 0,6 – 0,8 | 15,0 | 5,0 | 80,0 | 1,44 |
| | 0,8 – 1,0 | 16,0 | 7,0 | 77,0 | 1,55 |

Fonte: Barros (2011), Bassoi et al. (2001), Uribe (2010).

3.3 Uso da calibração nas variedades utilizadas na simulação

Segundo Barros (2011), o modelo CANEGRO já dispõe de algumas variedades cadastradas no seu banco de dados; no entanto, segundo estudo desenvolvido por Nassif et al. (2010), esse modelo, desenvolvido para variedades sul-africanas, necessita de parametrização para as variedades brasileiras. Utilizaram-se os dados coletados por Nassif (2010), cujos experimentos foram realizados em dois locais, Pradópolis - SP e Piracicaba -SP, no Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), onde as cultivares CTC 4, CTC 7 e CTC 20 foram avaliadas.

A característica do solo onde se realizou o experimento, na região de Pradópolis, é um latossolo roxo de textura argilosa, eupieutrófico, com plantio realizado em espaçamento de 1,5 m. Para a região de Piracicaba, o solo era um latossolo vermelho escuro.

Para a variedade RB 86 7515, os dados utilizados foram obtidos de Silva (2007), cuja área do experimento é pertencente à Usina Coruripe, no município de Coruripe – AL. O solo da área é classificado como argissolo amarelo distrófico fragipânico, sem registro de irrigação na área. Para validação, avaliaram-se as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, o índice de área foliar, o número de perfilhos por m², o número de folhas verdes por planta, a altura de colmo, o teor de sacarose em massa fresca e a produtividade. Para a variedade RB 86 7515, foram avaliados a massa fresca do colmo, o índice de área foliar, a altura de colmo, o número de perfilhos por m² e a massa seca do colmo.

Maiores informações sobre a validação e a parametrização do modelo estudado (DSSAT/CANEGRO), encontram-se no trabalho realizado por Nassif (2010).

3.4 Descrição das simulações

Utilizou-se a metodologia adotada por Barros (2011) para simular quatro diferentes épocas de plantio, por região: 15 de janeiro (Dia Juliano 15), 15 de março (Dia Juliano 74), 15 de setembro (Dia Juliano 258) e 15 de novembro (Dia Juliano 319). A partir de cada época de plantio estudada, levou-se em consideração o tempo de 18 meses (cana de ano e meio – 1,5 ano) entre o plantio e a colheita das variedades. Nas simulações utilizaram-se dois ambientes, um sem irrigação (sequeiro) e outro com irrigação (irrigado). Para a simulação, utilizou-se um período de 15 anos de dados meteorológicos das regiões estudadas.

A irrigação é calculada automaticamente pelo modelo: quando a umidade atinge o nível crítico, aplica-se a lâmina necessária para restabelecer a condição de capacidade de campo. O método de irrigação foi o de aspersão, a profundidade de manejo adotada, de 0,7 m. Os períodos de plantio e de colheita para a produtividade de cana-de-açúcar durante 1,5 ano são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Períodos de plantio e de colheita, durante 1,5 ano.

| Meses | Plantio | Colheita |
|----------|---------|----------|
| Janeiro | 15/01 | 15/06 |
| Março | 15/03 | 15/08 |
| Setembro | 15/09 | 15/02 |
| Novembro | 15/11 | 15/04 |

Para a discussão dos dados, usaram-se as nomenclaturas: janeiro, março, setembro e novembro, para nomear as épocas de plantio. Representando os ambientes, sem irrigação (sequeiro) e com irrigação (irrigado). As variedades, com os seus próprios nomes: RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20. Já na sessão onde constam os gráficos, estão representados da seguinte forma: (JAN/S, MAR/S, SET/S, NOV/S), representando cada mês no ambiente sequeiro e (JAN/I, MAR/I, SET/I, NOV/I), representando cada mês no ambiente irrigado. Para representar cada mês, usou-se uma cor: azul para janeiro; verde para março; vermelho para setembro e preto, para novembro. Assim, no eixo (y) está plotada a produtividade de cana-de-açúcar em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, enquanto no eixo (x), os dias após o plantio, segundo o calendário juliano.

3.5 Análise estatística

Submeteram-se os dados resultantes das simulações à análise de variância, realizando-se um fatorial triplo ($2 \times 4 \times 4$), totalizando 32 tratamentos em delineamento inteiramente casualizado. O primeiro fator foi o conjunto de tratamentos caracterizado pelos ambientes: *i*) sem irrigação (sequeiro); *ii*) com irrigação (irrigado). O segundo fator, o conjunto época de plantio: *i*) janeiro; *ii*) março; *iii*) setembro; *iv*) novembro. O terceiro fator, o conjunto das variedades: *i*) RB86 7515; *ii*) CTC 4; *iii*) CTC 7; *iv*) CTC 20. A avaliação foi feita com o auxílio do software SISVAR, aplicando-se o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade para as variáveis produtividades de colmo e produtividade de

açúcar. Procedeu-se também a uma análise baseada nas medidas de tendência central e de variabilidade dos dados da simulação (máximo, mínimo, média e coeficiente de variação).

3.6 Modelo DSSAT

Pode-se resumir o processo de simulação através dos seguintes passos: criação do banco de dados climatológicos de 15 anos das regiões estudadas, com dados de radiação, temperaturas máximas e mínimas e precipitação, realizada através do ícone (Weather data); preenchimento das características físicas do solo, realizado através do ícone (Soil data); em seguida, criação dos cenários e tratamentos; dos ambientes de irrigação; por meio do ícone de execução da simulação e leitura (Run), e por fim interpretação dos resultados simulados.

3.7 Validação do modelo estudado (Real x Simulado)

A validação do modelo para a região Sudeste foi realizada utilizando dados do campo experimental de Jaú, com a variedade RB86 7515, obtidos de Gava et al. (2011). Os dados avaliados foram: produtividade de colmo e de açúcar em ambientes sem irrigação e com irrigação. Para a região Nordeste, utilizaram-se dados da área experimental da usina COMVAP, localizada na cidade de União – PI, cidade que faz parte da microrregião de Teresina – PI, com a variedade RB86 7515; com dados obtidos de Andrade Júnior et al (2009), avaliando-se a produtividade de colmo e de açúcar nos ambientes sequeiro e irrigado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises das regiões

4.1.1 Análise de produtividade da região de Bauru – SP

Na Tabela 4, apresentam-se os valores máximos, mínimos e médios da produtividade de colmos e de açúcar da cana-de-açúcar, obtidos pela simulação utilizando o modelo DSSAT, para a região de Bauru-SP.

De acordo com a análise dos dados, observou-se que o plantio de sequeiro, realizado em diferentes épocas, apresentou coeficientes de variação (CV) para a produtividade de colmos, nas faixas de 10,61 a 18,33%; de 10,20 a 19,01%; de 11,40 a 18,59% e de 8,74 a 17,90%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Para o plantio irrigado, os CVs variaram de 1,99 a 3,06%; de 1,76 a 4,07%; de 1,70 a 5,14%, e de 1,88 a 3,2%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. O CV constitui um indicador de variação do fator em questão, no caso a produtividade de colmos, de ano para ano. Na condição de sequeiro, a produtividade é fortemente dependente da distribuição das chuvas, a qual varia anualmente, podendo gerar períodos de déficit hídrico. Na condição irrigada, os CVs foram menores, justamente porque tal técnica evita a ocorrência de restrição hídrica, assegurando a produção.

Tabela 4. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e de açúcar, para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT.

| BAURU | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mg.Colmos.ha ⁻¹ para 1,5 ano de plantio | | | | | | | | | |
| Variedades | | *JAN | | *MAR | | *SET | | *NOV | |
| | | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| RB86 7515 | Máxima | 138,45 | 156,85 | 136,48 | 154,69 | 151,39 | 160,17 | 148,30 | 160,05 |
| | Mínima | 85,30 | 145,61 | 68,68 | 146,47 | 108,78 | 148,00 | 108,21 | 142,99 |
| | Média | 113,32 | 150,14 | 109,31 | 149,38 | 135,48 | 153,24 | 126,99 | 151,19 |
| | CV (%) | 16,11 | 2,35 | 18,33 | 1,99 | 10,86 | 2,57 | 10,61 | 3,06 |
| CTC 4 | Máxima | 138,94 | 155,27 | 135,55 | 154,12 | 152,43 | 158,22 | 146,70 | 156,55 |
| | Mínima | 84,22 | 135,88 | 67,74 | 142,35 | 108,06 | 148,43 | 108,11 | 143,26 |
| | Média | 112,25 | 146,80 | 108,43 | 147,09 | 136,33 | 151,30 | 127,93 | 149,99 |
| | CV (%) | 16,61 | 4,07 | 19,01 | 2,41 | 10,58 | 1,76 | 10,20 | 2,05 |
| CTC 7 | Máxima | 134,74 | 152,37 | 129,48 | 151,16 | 149,24 | 155,16 | 144,49 | 153,90 |
| | Mínima | 80,51 | 129,17 | 65,32 | 134,79 | 103,08 | 146,07 | 101,40 | 140,48 |
| | Média | 107,41 | 143,58 | 103,92 | 143,32 | 131,74 | 149,00 | 122,34 | 147,50 |
| | CV (%) | 16,88 | 5,14 | 18,59 | 3,47 | 11,71 | 1,70 | 11,40 | 2,18 |
| CTC 20 | Máxima | 144,43 | 162,16 | 143,94 | 157,32 | 157,77 | 164,55 | 151,71 | 164,78 |
| | Mínima | 89,51 | 145,66 | 74,09 | 147,59 | 113,64 | 150,75 | 112,97 | 147,73 |
| | Média | 119,70 | 152,55 | 116,22 | 151,48 | 142,35 | 156,24 | 134,41 | 154,75 |
| | CV (%) | 15,73 | 3,20 | 17,90 | 1,88 | 8,93 | 2,46 | 8,74 | 2,88 |
| Mg.Açúcar.ha ⁻¹ para 1,5 ano de plantio | | | | | | | | | |
| Variedades | | *JAN | | *MAR | | *SET | | *NOV | |
| | | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| RB86 7515 | Máxima | 20,50 | 24,04 | 20,24 | 23,63 | 22,27 | 25,18 | 21,94 | 24,83 |
| | Mínima | 9,70 | 21,38 | 6,49 | 20,66 | 14,56 | 22,04 | 14,87 | 20,65 |
| | Média | 15,73 | 22,28 | 15,34 | 22,07 | 19,39 | 24,32 | 17,75 | 23,02 |
| | CV (%) | 20,98 | 3,76 | 24,18 | 4,50 | 12,41 | 3,51 | 12,29 | 5,16 |
| CTC 4 | Máxima | 20,91 | 23,49 | 20,54 | 24,76 | 24,00 | 26,06 | 21,90 | 24,25 |
| | Mínima | 11,61 | 20,77 | 8,30 | 21,38 | 15,14 | 22,54 | 14,98 | 21,09 |
| | Média | 16,17 | 22,30 | 15,72 | 22,51 | 20,57 | 24,74 | 18,72 | 23,45 |
| | CV (%) | 19,38 | 4,10 | 22,56 | 4,20 | 12,10 | 3,58 | 10,77 | 3,75 |
| CTC 7 | Máxima | 21,64 | 24,27 | 20,62 | 24,40 | 23,88 | 25,83 | 22,94 | 24,75 |
| | Mínima | 11,02 | 20,47 | 8,18 | 22,18 | 14,97 | 22,65 | 15,07 | 21,90 |
| | Média | 16,20 | 22,87 | 15,77 | 23,25 | 20,57 | 24,70 | 18,85 | 23,68 |
| | CV (%) | 20,76 | 5,18 | 23,05 | 3,48 | 12,89 | 3,54 | 12,40 | 3,30 |
| CTC 20 | Máxima | 23,87 | 26,99 | 23,62 | 26,60 | 26,85 | 28,61 | 24,59 | 27,52 |
| | Mínima | 13,44 | 23,91 | 9,78 | 23,71 | 17,80 | 24,75 | 17,99 | 23,59 |
| | Média | 19,03 | 24,94 | 18,63 | 24,87 | 23,20 | 27,07 | 21,51 | 25,91 |
| | CV (%) | 17,66 | 4,03 | 21,74 | 3,39 | 10,02 | 3,56 | 8,75 | 4,34 |

*Época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irriga

Para a produção de açúcar no ambiente de sequeiro, os coeficientes de variação estiveram nas faixas de 12,29 a 24,18%; de 10,77 a 22,56%; de 12,40 a 23,05%; e de 8,21 a 21,74%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. O coeficiente de variação (CV) representa o risco de perda de produtividade, nos diferentes anos analisados (BARROS, 2011). Para o ambiente irrigado, os CVs variaram de 3,51 a 5,16%; de 3,58 a 4,20%; de 3,30 a 5,18%; de 3,39 a 4,34%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Observa-se que os CVs foram novamente menores na condição de plantio irrigado, quando comparados aos obtidos para o ambiente de sequeiro, reiterando que a irrigação proporcionou uma menor variação, também para a produtividade de açúcar, na região de Bauru-SP.

A variação de produtividade de colmos entre o ambiente irrigado e o de sequeiro foi de 13,10 a 36,70%, de 11,00 a 35,70%, de 13,10 a 37,90% e de 9,80 a 30,30% para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente.

Comparando a produtividade de colmo entre o ambiente irrigado e o de sequeiro, para todas as variedades e épocas de plantio, observou-se que os maiores incrementos ocorreram para o plantio em março, enquanto os menores, para o plantio em setembro. Observou-se, também, que as maiores produtividades de colmo ocorreram no plantio em setembro, em todas as variedades avaliadas. Tais resultados indicam que o plantio em março é o que apresenta as piores condições climáticas para o desenvolvimento em ambiente de sequeiro, pois ofereceu a maior resposta à irrigação. O plantio em setembro resultou em maior produtividade e também em menor variação de produtividade em relação ao sequeiro, indicando ser essa a melhor época de plantio, nos dois ambientes, irrigado e o de sequeiro.

Na Figura 1, apresenta-se o balanço hídrico para a região de Bauru, SP, o qual sinaliza um período de déficit hídrico, de abril a setembro, indicando que os plantios em janeiro e março, na condição de sequeiro, têm grande probabilidade de sofrer a redução de produtividade, decorrente de restrição hídrica no início do ciclo da cana-de-açúcar.

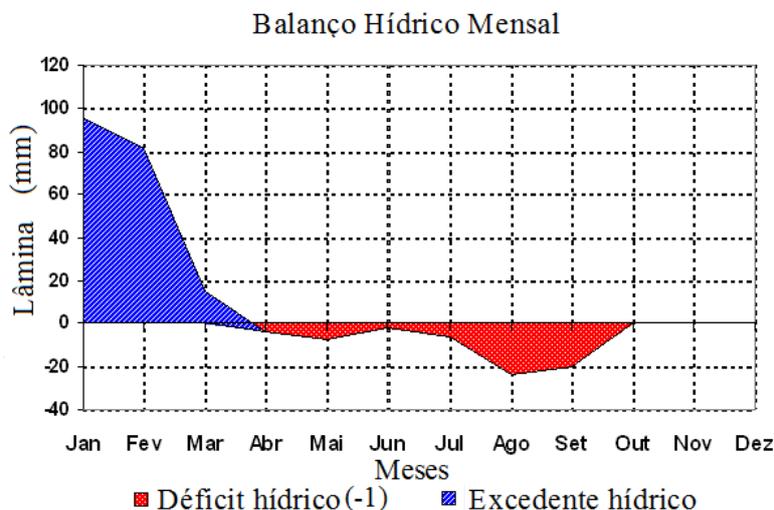


Figura 1. Balanço hídrico da região de Bauru – SP. (Modificado de EMBRAPA, 2003)

As menores produtividades médias encontradas ocorreram quando o plantio se realizou em março, com valores altos de CV; constitui, portanto, o período menos indicado para o plantio de cana-de-açúcar de ano e meio. Observando a média de quinze anos da precipitação no plantio em março, encontrou-se o valor de 1427,72 mm; assim sendo, a falta de água foi fator limitante ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura plantada nesse mês. O crescimento e o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar são mais acentuados e mais dependentes de água até o sexto mês (DE PAULA, 2010). Portanto o crescimento deficitário, em função da restrição de água e das baixas temperaturas nos meses subsequentes (abril, maio, junho, julho e agosto) pode constituir a causa da menor produtividade.

Na Tabela 5, informa-se a comparação das médias de produtividade de colmo para as quatro variedades avaliadas, nos dois ambientes e nas quatro épocas de plantio. A produtividade na condição irrigada foi sempre superior à obtida na condição de sequeiro, em todas as épocas de plantio e para as quatro variedades estudadas.

A época de plantio não interferiu na produtividade de colmos, quando a cana-de-açúcar foi irrigada, o que se constatou nas quatro variedades. Para o ambiente de sequeiro, não se verificou diferença de produtividade para a cana-de-açúcar plantada em janeiro, ou em março, nem entre aquela plantada em setembro, ou em novembro. No entanto

ocorreu maior produtividade nos plantios em setembro e em novembro do que nos realizados em janeiro e em março, para todas as variedades analisadas. Novamente se evidencia o efeito do déficit hídrico na região, no período de abril a setembro, gerando impacto negativo sobre a produtividade dos plantios realizados em janeiro e em março, para a cana de ano e meio. Segundo Inman-Bamber; Smith (2005), a cana-de-açúcar fica mais susceptível ao déficit hídrico, quando as plantas estão na fase de alongamento dos colmos, o que causa sérios prejuízos na produtividade de colmo e de açúcar. Isso pode ocorrer quando o plantio é realizado em janeiro e em março.

De acordo com Doorembo;Kassam (1994), o rendimento da cana-de-açúcar produzida em condições de sequeiro, nos trópicos úmidos, varia entre 70 e 100 Mg.ha⁻¹, enquanto, nos trópicos e nos subtropicos secos, com irrigação, entre 100 e 150 Mg.ha⁻¹.

A precipitação média, durante quinze anos, para o mês de setembro, na região de Bauru, foi 2022,58 mm durante 1,5 ano de plantio(Tabela 1); isso se refletiu nas menores produções encontradas em condições de sequeiro; já no outro ambiente, essa precipitação foi compensada com a irrigação, o que proporcionou um aumento considerável de produtividade do colmo e do açúcar.

Tabela 5. Análise estatística da produtividade de colmo para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT e a % de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro.

| BAURU | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|----------|----|----------|----------|----|----------|----------|----|----------|----------|----|
| Variedades / Ambientes | | | | | | | | | | | | |
| Mg.Colmos.ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | |
| | RB 86 7515 | | | CTC 4 | | | CTC 7 | | | CTC 20 | | |
| *Meses | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % |
| JAN | 113,32bB | 150,14aA | 32 | 112,25bB | 146,80aA | 31 | 107,41bB | 143,58aA | 34 | 119,70bB | 152,55aA | 27 |
| MAR | 109,31bB | 149,38aA | 37 | 108,43bB | 147,09aA | 36 | 103,92bB | 143,32aA | 38 | 116,22bB | 151,48aA | 30 |
| SET | 135,48aB | 153,24aA | 13 | 136,33aB | 151,30aA | 11 | 131,74aB | 149,00aA | 13 | 142,35aB | 156,24aA | 10 |
| NOV | 126,99aB | 151,19aA | 19 | 127,93aB | 149,99aA | 17 | 122,34aB | 147,50aA | 21 | 134,41aB | 154,75aA | 15 |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha (para cada variedade), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Meses= época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Na Tabela 6, apresenta-se a comparação das médias de produtividade de açúcar para as quatro variedades avaliadas, nos dois ambientes e nas quatro épocas de plantio. À semelhança do que ocorreu com a produtividade de colmo, a de açúcar na condição irrigada foi sempre superior à obtida na condição de sequeiro, em todas as épocas de plantio e para as quatro variedades estudadas.

A época de plantio não interferiu na produtividade de açúcar, quando a cana-de-açúcar foi irrigada, o que se constatou nas quatro variedades. Para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro, o plantio em setembro gerou maior produção de açúcar que o plantio em março. Para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, não houve diferença de produtividade do açúcar entre a cana plantada em janeiro e em março, nem entre a plantada em setembro e em novembro. No entanto ocorreu maior produtividade nos plantios em setembro e em novembro do que em janeiro e março, nessas três variedades.

Tabela 6. Análise estatística da produtividade de açúcar para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT.

| BAURU | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|
| Variedades / Ambientes | | | | | | | | |
| Mg. Açúcar.ha ⁻¹ | | | | | | | | |
| | RB 86 7515 | | CTC 4 | | CTC 7 | | CTC 20 | |
| *Meses | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| JAN | 15,73bcB | 22,28aA | 16,17bB | 22,30bA | 16,20bB | 22,87aA | 19,03bB | 24,94bA |
| MAR | 15,34cB | 22,07aA | 15,72bB | 22,51bA | 15,77bB | 23,25aA | 18,63bB | 24,87abA |
| SET | 19,39aB | 24,32aA | 20,57aB | 24,74aA | 20,57aB | 24,70aA | 23,20aB | 27,07aA |
| NOV | 17,75abB | 23,02aA | 18,72aB | 23,45abA | 18,85aB | 23,68aA | 21,51aB | 25,91abA |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha somente para uma variedade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Meses= época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Nas figuras 2 e 3, são apresentadas as curvas da produtividade média de colmo e de açúcar por hectare, para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para o plantio de um ano e meio na região de Bauru – SP. No ambiente de sequeiro, os plantios em janeiro e em março resultaram em crescimento muito semelhante, gerando, porém, menor produtividade de colmo e de açúcar que os plantios em setembro e em novembro. No irrigado, todas as épocas de plantio conduziram à mesma produtividade de

colmo e de açúcar. Percebe-se também, para todas as épocas, que as produtividades foram sempre maiores no ambiente irrigado que no de sequeiro.

Segundo Barros (2010), apesar de o modelo disponibilizar ferramentas para identificar e afetar a fisiologia da planta, sem aumentar a produtividade, o programa não possui mecanismo para matar a planta e nem reduzir a produtividade gerada até o momento do estresse hídrico. Dessa forma, as curvas apresentadas na condição de sequeiro estão superestimadas, ocorrendo, em alguns casos, a anulação de algumas curvas, devido à morte ocorrida pelo déficit hídrico excessivo.

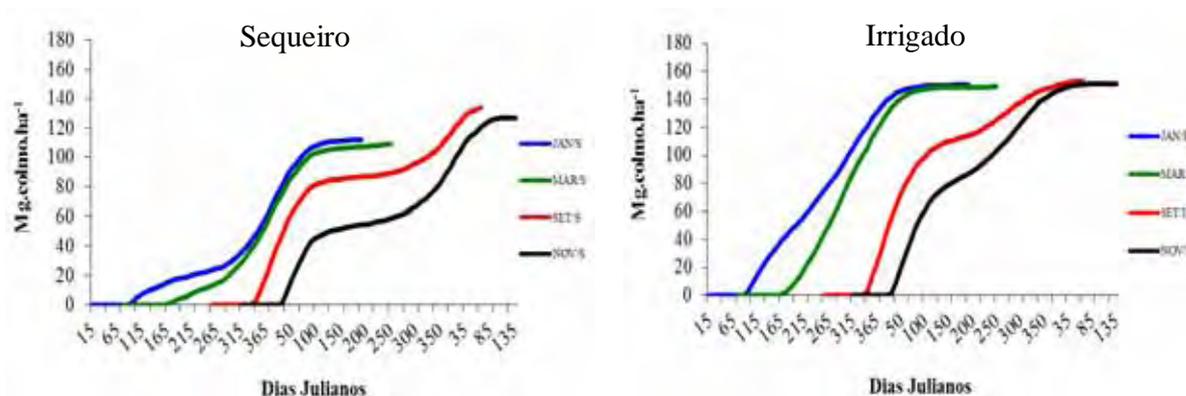


Figura 2. Curva de produtividade de colmo em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.

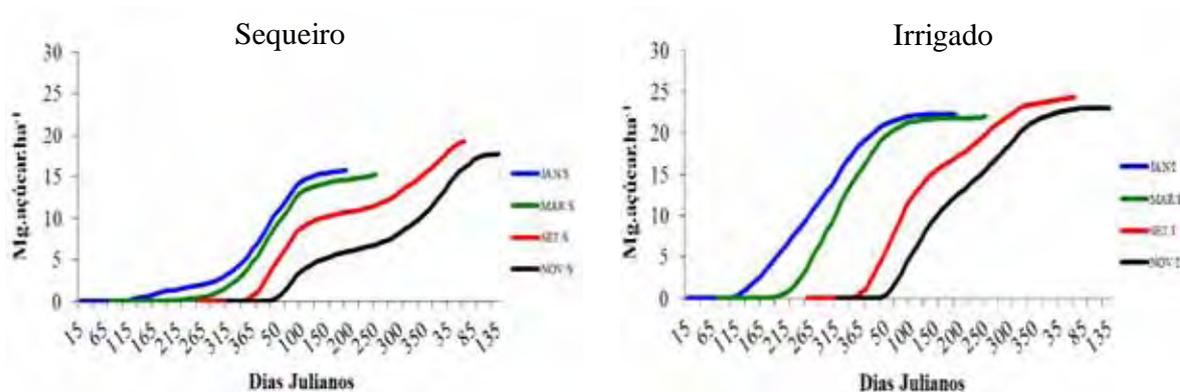


Figura 3. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha^{-1} , para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.

Para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, o comportamento foi semelhante; as curvas de produtividade de colmo e de açúcar encontram-se no Anexo 1.

4.1.2 Análise de produtividade da região de Jaú – SP

Na Tabela 7, apresentam-se os valores máximos, mínimos e médios da produtividade de colmos e de açúcar da cana, simulada pelo modelo DSSAT, para a região de Jaú – SP.

Através das análises dos dados no plantio de sequeiro, realizado em diferentes épocas, observou-se que o coeficiente de variação (CV) para a produtividade de colmos variou de 2,38 a 7,34%; de 2,55 a 7,19%; de 3,14 a 8,20% e de 2,28 a 5,88%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Já para o plantio em ambiente irrigado, os CVs apresentados variaram na faixa de 2,61 a 3,39%; de 2,57 a 3,33%; de 2,79 a 3,65% e de 2,37 a 3,25%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. O CV, como discutido anteriormente, constitui um indicador de variação de produtividade. Observa-se que, no ambiente de sequeiro, a produtividade depende da distribuição das chuvas, podendo, assim, ocorrer períodos de déficit hídrico o qual interfere na produtividade da cultura. Já no ambiente irrigado, os CVs apresentam-se menores, devido o uso da irrigação, que proporciona uma distribuição mais uniforme, mantendo o solo na faixa de umidade recomendada, evitando períodos de déficit hídrico e garantindo a produção.

Tabela 7. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e de açúcar, para a região de Jaú - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT.

| | | JAÚ | | | | | | | |
|------------|---------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Mg.Colmos.ha ⁻¹ para 1,5 ano de plantio | | | | | | | |
| Variedades | | *JAN | | *MAR | | *SET | | *NOV | |
| | | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| RB86 7515 | Máxima | 147,94 | 156,58 | 146,40 | 152,99 | 152,36 | 156,48 | 150,04 | 157,68 |
| | Mínima | 128,92 | 140,82 | 114,96 | 141,79 | 139,63 | 143,27 | 136,74 | 141,56 |
| | Média | 137,78 | 148,46 | 132,27 | 146,27 | 145,25 | 149,75 | 143,44 | 148,95 |
| | CV (%) | 4,85 | 3,39 | 7,34 | 2,61 | 2,38 | 2,66 | 3,08 | 3,39 |
| CTC 4 | Máxima | 150,78 | 157,21 | 147,03 | 154,04 | 154,50 | 158,41 | 152,54 | 157,83 |
| | Mínima | 129,41 | 143,24 | 116,21 | 142,31 | 140,53 | 144,69 | 137,77 | 142,77 |
| | Média | 139,59 | 149,91 | 133,40 | 147,58 | 147,11 | 151,29 | 145,25 | 150,60 |
| | CV (%) | 4,98 | 3,33 | 7,19 | 2,57 | 2,55 | 2,64 | 3,09 | 3,20 |
| CTC 7 | Máxima | 146,34 | 154,78 | 143,99 | 152,09 | 152,32 | 156,04 | 149,08 | 155,88 |
| | Mínima | 124,49 | 139,22 | 110,71 | 138,90 | 136,20 | 141,19 | 133,91 | 139,58 |
| | Média | 134,60 | 146,96 | 128,22 | 144,44 | 143,76 | 148,99 | 141,59 | 147,75 |
| | CV (%) | 5,78 | 3,65 | 8,20 | 3,04 | 3,14 | 2,79 | 3,46 | 3,43 |
| CTC 20 | Máxima | 152,23 | 159,83 | 150,43 | 156,25 | 157,78 | 162,43 | 153,67 | 161,19 |
| | Mínima | 136,77 | 145,75 | 122,75 | 145,84 | 145,19 | 148,53 | 143,44 | 147,21 |
| | Média | 143,60 | 152,32 | 138,78 | 149,96 | 150,39 | 154,43 | 148,39 | 153,31 |
| | CV (%) | 3,66 | 3,16 | 5,88 | 2,37 | 2,28 | 2,79 | 2,44 | 3,25 |
| | | Mg.Açúcar.ha ⁻¹ para 1,5 ano de plantio | | | | | | | |
| Variedades | | JAN | | MAR | | SET | | NOV | |
| | | SEQ | IRR | SEQ | IRR | SEQ | IRR | SEQ | IRR |
| RB86 7515 | Máxima | 22,63 | 23,46 | 22,77 | 24,55 | 23,75 | 24,78 | 23,11 | 24,09 |
| | Mínima | 16,44 | 19,55 | 15,40 | 19,15 | 19,31 | 21,22 | 17,91 | 20,08 |
| | Média | 19,53 | 21,41 | 18,86 | 21,00 | 21,13 | 22,69 | 20,45 | 21,87 |
| | CV (%) | 10,35 | 6,08 | 11,23 | 7,10 | 6,28 | 5,07 | 7,40 | 5,93 |
| CTC 4 | Máxima | 23,07 | 24,70 | 23,28 | 25,34 | 24,07 | 26,14 | 23,37 | 25,66 |
| | Mínima | 17,26 | 20,14 | 16,14 | 19,41 | 20,14 | 21,85 | 19,27 | 21,09 |
| | Média | 20,11 | 21,96 | 19,30 | 21,53 | 22,00 | 23,50 | 21,23 | 22,64 |
| | CV (%) | 9,17 | 6,24 | 11,11 | 7,48 | 5,22 | 5,29 | 6,00 | 6,25 |
| CTC 7 | Máxima | 23,92 | 25,07 | 24,22 | 25,39 | 24,37 | 26,09 | 21,83 | 25,87 |
| | Mínima | 17,65 | 21,10 | 16,13 | 21,20 | 20,75 | 22,27 | 23,88 | 21,56 |
| | Média | 20,80 | 22,80 | 20,09 | 22,77 | 22,39 | 23,83 | 19,75 | 23,14 |
| | CV (%) | 9,05 | 5,75 | 12,09 | 5,46 | 5,15 | 5,13 | 5,84 | 5,68 |
| CTC 20 | Máxima | 24,96 | 26,71 | 25,18 | 27,22 | 26,42 | 27,88 | 25,66 | 27,71 |
| | Mínima | 20,41 | 22,51 | 18,68 | 22,08 | 22,94 | 24,32 | 21,63 | 23,25 |
| | Média | 22,67 | 24,19 | 22,22 | 23,82 | 24,54 | 25,66 | 23,47 | 24,82 |
| | CV (%) | 6,57 | 5,18 | 8,11 | 5,93 | 3,97 | 4,59 | 5,17 | 5,45 |

*Época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Para a produtividade de açúcar no ambiente de sequeiro, os coeficientes de variação estiveram nas faixas de 6,28 a 11,23%; de 5,22 a 11,11%; de 5,15 a 12,09% e de 3,97 a 8,11%, para as variedades RB86 7514, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Já no ambiente irrigado, os CVs apresentaram-se entre 5,07 e 7,10%; 5,29 e 7,48%; 5,13 e 5,75% e 4,59 e 5,93%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Como na localidade anterior, os CVs apresentados para a região de Jaú – SP foram menores no ambiente irrigado que no de sequeiro, confirmando que irrigar produz menor variação na produtividade de açúcar.

A variação de produtividade de colmos entre o ambiente irrigado e o de sequeiro foi de 3,09 a 10,58%, de 2,84 a 10,63%, de 3,64 a 12,65% e de 2,69 a 8,05%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente.

Os maiores incrementos de produtividade de colmo, decorrentes da irrigação, ocorreram para o plantio em março, enquanto os menores para o plantio em setembro, em todas as variedades. Observou-se que as maiores produtividades de colmo ocorreram para o plantio em setembro, em todas as variedades avaliadas. Os resultados indicam que o plantio em março é o que apresenta piores condições climáticas para o desenvolvimento em ambiente de sequeiro, porém proporcionou maior resposta à irrigação. Por sua vez, o plantio em setembro gerou as maiores produtividades e, conseqüentemente, a menor variação em relação ao sequeiro, recebendo a recomendação de melhor época de plantio, tanto para o ambiente irrigado quanto para o de sequeiro.

Na Figura 4, apresenta-se o balanço hídrico para a região de Jaú – SP, constituindo de um período seco entre junho e o final de setembro/início de outubro, ou seja, de déficit hídrico no início do ciclo da cultura para os plantios em janeiro e março, na condição de sequeiro. Por isso eles apresentaram redução de produtividade. A irrigação teve efeito positivo na produtividade de cana-de-açúcar na região de Jaú – SP, especialmente quando aplicada em conjunto com a adubação nitrogenada, acima da dose de 140 kg N/ha (Uribe, 2010).

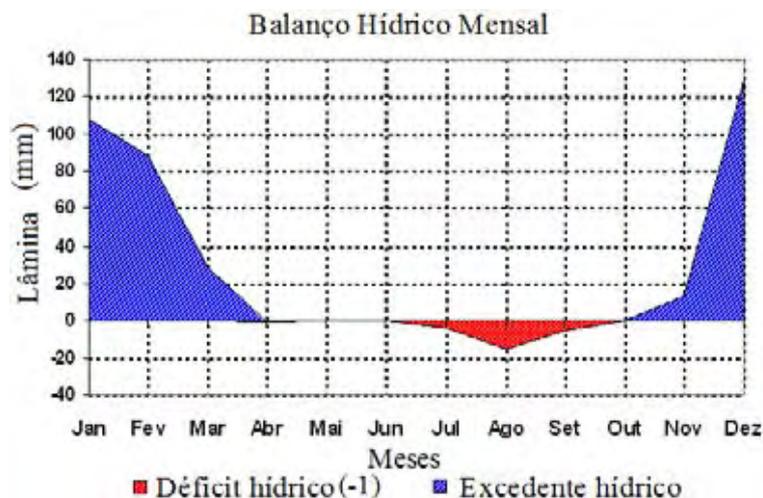


Figura 4. Balanço hídrico da região de Jaú – SP. (Modificado de EMBRAPA, 2003).

Obtiveram-se as menores produtividades médias quando o plantio foi realizado no mês de março, com valores maiores de CV. Daí não constituir essa a época de plantio mais recomendada. Ao observar-se a média de quinze anos de precipitação nesse mês, foi encontrado o valor de 1616,30 mm (Tabela 1). Portanto, no mês de março, a escassez de água limitou o crescimento e o desenvolvimento das variedades estudadas. Segundo Santos et al. (2005), a irrigação favorece não só o aumento da produtividade, como também a longevidade das soqueiras, reduzindo os custos com preparo do solo, tratos culturais e plantio.

Na Tabela 8, informa-se a comparação das médias de produtividade de colmo para as quatro variedades analisadas, nos dois ambientes e nas quatro épocas de plantio. O ambiente irrigado sempre apresentou produtividade superior ao de sequeiro, tanto entre as épocas de plantio como entre as quatro variedades adotadas.

Observa-se que a época de plantio não interferiu na produtividade de colmos, quando houve irrigação, o que foi verificado nas quatro variedades. Para o ambiente de sequeiro, não houve diferença significativa para cana-de-açúcar plantada em janeiro ou em março, nem para as plantadas em setembro ou em novembro. No entanto, ocorreu maior produtividade nos plantios em setembro e em novembro, em relação aos plantios em janeiro e em março, em todas as variedades analisadas. Mais uma vez, ficou evidente o efeito do déficit hídrico no período de abril a setembro, provocando impacto negativo sobre a produtividade dos plantios realizados em janeiro e em março, para a cana de ano e meio.

Tabela 8. Análise estatística da produtividade de colmo, para a região de Jaú - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT e a % de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro.

| JAÚ | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|----------|----|-----------|----------|----|----------|----------|----|-----------|----------|---|
| Variedades \ Ambientes Mg.Colmos.ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | |
| | RB 86 7515 | | | CTC 4 | | | CTC 7 | | | CTC 20 | | |
| *Meses | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % |
| JAN | 137,78bcB | 148,46aA | 8 | 139,59bcB | 149,91aA | 7 | 134,60bB | 146,96aA | 9 | 143,60bcB | 152,32aA | 6 |
| MAR | 132,27cB | 146,27Aa | 11 | 133,40cB | 147,58aA | 11 | 128,22cB | 144,44aA | 13 | 138,78cB | 149,96aA | 8 |
| SET | 145,25aB | 149,75aA | 3 | 147,11aB | 151,29aA | 3 | 143,76aB | 148,99aA | 4 | 150,39aB | 154,43aA | 3 |
| NOV | 143,44abB | 148,95aA | 4 | 145,25abB | 150,60aA | 4 | 141,59aB | 147,75aA | 4 | 148,39abB | 153,31aA | 3 |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha (para cada variedade), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Meses= época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

A precipitação média de quinze anos para o plantio no mês de setembro, na região de Jaú, foi de 2192,59 mm (Tabela 1), durante os 18 meses da cana-de-açúcar de ano e meio. Isso influenciou as menores produtividades encontradas em ambiente de sequeiro

Na Tabela 9, apresenta-se a comparação das médias de produtividade de açúcar para as quatro variedades avaliadas, nos dois ambientes e nas quatro épocas de plantio.

Tabela 9. Análise estatística da produtividade de açúcar, para a região de Jaú - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT.

| JAÚ | | | | | | | | |
|--|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Variedades \ Ambientes Mg.Açúcar.ha ⁻¹ | | | | | | | | |
| | RB 86 7515 | | CTC 4 | | CTC 7 | | CTC 20 | |
| *Meses | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| JAN | 19,53abB | 21,41abA | 20,11bcB | 21,96abA | 20,80bcB | 22,80bcA | 22,67 bB | 24,19abA |
| MAR | 18,86 bB | 21,00bA | 19,30cB | 21,53 bA | 20,09 cB | 22,77 cA | 22,22 bB | 23,82 bA |
| SET | 21,13 aB | 22,69 aA | 22,00aB | 23,50 aA | 22,39 aB | 23,83 aA | 24,54 aB | 25,66 aA |
| NOV | 20,45abB | 21,87abA | 21,23abB | 22,64abA | 19,75bcB | 23,14abA | 23,47abB | 24,82abA |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha somente para uma variedade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Meses= época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

As variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20 apresentaram produtividade de açúcar maior no plantio em setembro do que no plantio em março.

Nas figuras 5 e 6, são apresentadas as curvas de produtividade média de colmo e de açúcar por hectare, para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para o plantio de um ano e meio na região de Jaú – SP. Na condição em sequeiro, os plantios em janeiro e em março resultaram em crescimento muito semelhante, porém menos acentuado, gerando menor produtividade de colmo e de açúcar que os plantios em setembro e em novembro. Na condição irrigada, todas as épocas de plantio conduziram à mesma produtividade de colmo e de açúcar.

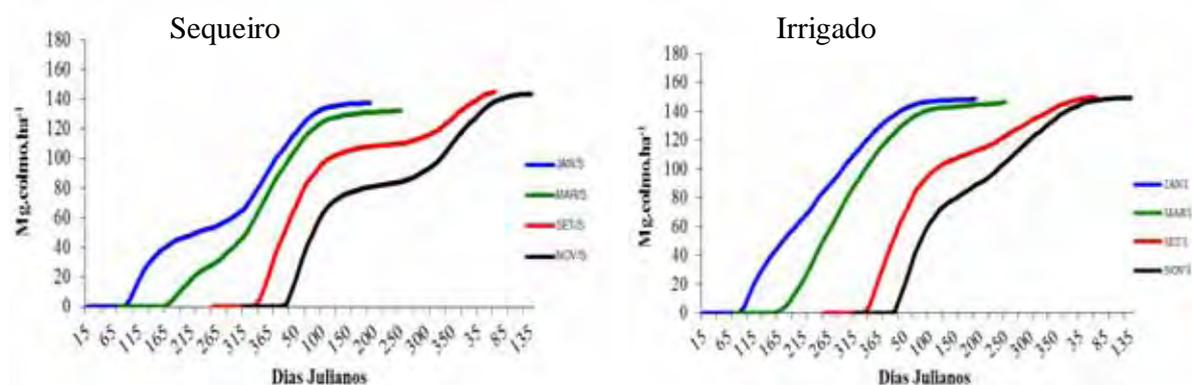


Figura 5. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha⁻¹, para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano.

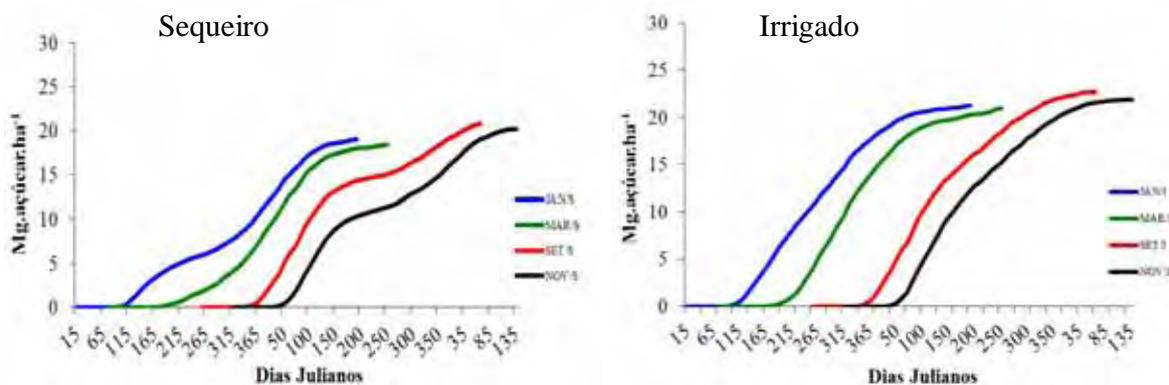


Figura 6. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha^{-1} , para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano.

Para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, o comportamento foi semelhante; as curvas de produtividade de colmo e de açúcar encontram-se no Anexo2.

4.1.3 Análise de produtividade da região de Teresina-PI

Na Tabela 10, apresentam-se os valores máximos, mínimos e médios da produtividade de colmo e de açúcar da cana, obtidos por simulação, utilizando o modelo DSSAT, para a região de Teresina – PI.

De acordo com a análise dos dados, observou-se que o plantio de sequeiro, realizado em diferentes épocas de plantio, apresentou coeficiente de variação (CV) para a produtividade de colmos nas faixas de 4,55 a 11,17%; de 4,62 a 11,64%; de 4,88 a 9,92% e de 3,61 a 8,90%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Para o plantio irrigado, os CVs variaram de 0,71 a 1,62%; de 1,14 a 3,68%; de 1,47 a 4,61% e de 0,70 a 1,89%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente.

No ambiente sequeiro, ficou claro que a produtividade depende da distribuição das chuvas, a qual varia em certo período de maio e se estende a dezembro, gerando períodos de déficit hídrico que podem interferir na produtividade. No ambiente irrigado, os CVs obtidos foram menores, devido ao fornecimento adequado de água para as plantas.

Tabela 10. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e de açúcar, para a região de Teresina - PI, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT.

| TERESINA | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mg.Colmos.ha ⁻¹ para 1,5 ano de plantio | | | | | | | | | |
| Variedades | | *JAN | | *MAR | | *SET | | *NOV | |
| | | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| RB86 7515 | Máxima | 139,69 | 149,39 | 139,37 | 150,02 | 139,12 | 147,69 | 130,91 | 147,19 |
| | Mínima | 95,37 | 141,40 | 118,71 | 147,12 | 118,12 | 139,96 | 109,39 | 137,34 |
| | Média | 120,02 | 146,27 | 129,75 | 148,44 | 128,21 | 144,58 | 118,53 | 143,29 |
| | CV (%) | 11,17 | 1,62 | 5,12 | 0,71 | 4,55 | 1,62 | 5,52 | 2,12 |
| CTC 4 | Máxima | 137,37 | 148,40 | 141,56 | 149,76 | 140,39 | 146,10 | 133,82 | 147,71 |
| | Mínima | 92,70 | 132,67 | 120,49 | 144,37 | 118,98 | 138,48 | 110,24 | 130,80 |
| | Média | 121,10 | 143,71 | 130,30 | 147,37 | 129,48 | 143,26 | 120,65 | 140,84 |
| | CV (%) | 11,64 | 3,68 | 5,28 | 1,14 | 4,62 | 1,56 | 5,66 | 3,56 |
| CTC 7 | Máxima | 136,32 | 145,88 | 135,80 | 146,87 | 134,14 | 142,77 | 128,58 | 145,32 |
| | Mínima | 97,16 | 129,54 | 116,87 | 140,44 | 112,97 | 132,70 | 104,08 | 125,28 |
| | Média | 117,67 | 140,60 | 124,61 | 144,01 | 122,31 | 139,33 | 115,40 | 136,61 |
| | CV (%) | 9,92 | 4,12 | 5,08 | 1,47 | 4,88 | 2,15 | 6,80 | 4,61 |
| CTC 20 | Máxima | 145,33 | 151,17 | 144,96 | 151,61 | 143,24 | 149,81 | 141,15 | 150,61 |
| | Mínima | 111,20 | 145,43 | 129,64 | 148,93 | 125,24 | 143,17 | 116,03 | 141,72 |
| | Média | 132,64 | 149,02 | 137,76 | 150,22 | 134,34 | 146,67 | 129,69 | 146,54 |
| | CV (%) | 8,90 | 1,34 | 3,61 | 0,70 | 3,76 | 1,28 | 7,23 | 1,89 |
| Mg.Açúcar.ha ⁻¹ para 1,5 ano de plantio | | | | | | | | | |
| Variedades | | JAN | | MAR | | SET | | NOV | |
| | | SEQ | IRR | SEQ | IRR | SEQ | IRR | SEQ | IRR |
| RB86 7515 | Máxima | 14,07 | 16,43 | 14,34 | 16,07 | 14,70 | 18,94 | 12,96 | 18,64 |
| | Mínima | 7,32 | 13,15 | 9,33 | 13,15 | 11,44 | 14,32 | 9,60 | 15,21 |
| | Média | 10,89 | 14,86 | 12,37 | 14,99 | 13,00 | 16,38 | 11,27 | 16,41 |
| | CV (%) | 18,34 | 6,41 | 12,52 | 5,51 | 8,31 | 8,02 | 8,95 | 5,85 |
| CTC 4 | Máxima | 13,62 | 17,47 | 15,00 | 17,39 | 14,92 | 18,16 | 13,67 | 17,95 |
| | Mínima | 8,16 | 13,26 | 9,29 | 14,24 | 10,86 | 14,05 | 10,18 | 15,14 |
| | Média | 11,60 | 15,98 | 12,61 | 15,97 | 13,18 | 16,09 | 11,83 | 16,60 |
| | CV (%) | 16,63 | 8,78 | 13,59 | 6,09 | 9,77 | 7,32 | 9,83 | 5,89 |
| CTC 7 | Máxima | 16,27 | 18,56 | 16,83 | 18,88 | 16,65 | 19,93 | 15,07 | 19,24 |
| | Mínima | 8,43 | 14,36 | 11,48 | 16,32 | 12,19 | 16,83 | 10,84 | 16,53 |
| | Média | 12,80 | 17,51 | 14,30 | 17,96 | 14,44 | 18,42 | 13,02 | 18,05 |
| | CV (%) | 18,56 | 8,52 | 11,35 | 4,36 | 9,04 | 4,84 | 10,35 | 5,21 |
| CTC 20 | Máxima | 18,28 | 20,74 | 19,60 | 19,73 | 18,60 | 21,83 | 18,16 | 22,23 |
| | Mínima | 10,71 | 16,79 | 14,98 | 17,92 | 15,38 | 17,75 | 13,28 | 19,12 |
| | Média | 15,87 | 19,33 | 17,28 | 19,20 | 17,19 | 19,92 | 16,22 | 20,60 |
| | CV (%) | 16,07 | 5,56 | 7,85 | 2,97 | 6,18 | 5,55 | 8,64 | 4,34 |

*Época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Para a produção de açúcar no ambiente de sequeiro, os coeficientes de variação apresentaram-se nas faixas de 8,31 a 18,34%; de 9,77 a 16,63%; de 9,04 a 18,56% e de 6,18 a 16,07%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Em estudo realizado por Barbosa (2005), em condições experimentais em áreas irrigadas e de sequeiro, com a cultura da cana-de-açúcar, foi observado que a produtividade do experimento irrigado foi aproximadamente 29% superior do que a do experimento de sequeiro.

Para o ambiente irrigado, os CVs variaram de 5,51 a 8,02%; de 5,89 a 8,78%; de 4,36 a 8,52%; de 2,97 a 5,56%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Os CVs foram menores também para a produtividade de açúcar, quando comparada com a do ambiente em sequeiro, demonstrando que o uso da irrigação diminui o coeficiente de variação para a região de Teresina – PI.

A variação de produtividade de colmos entre o ambiente irrigado e o de sequeiro foi de 12,77 a 21,87% de 10,64 a 18,67%, de 13,91 a 19,49% e de 9,04 a 13,00%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente.

Na Figura 7, apresenta-se o balanço hídrico para a região de Teresina – PI, que apresentou um período de déficit hídrico de maio a dezembro, indicando que os plantios realizados em setembro e em novembro, sem irrigação, teriam maior dificuldade de germinação.

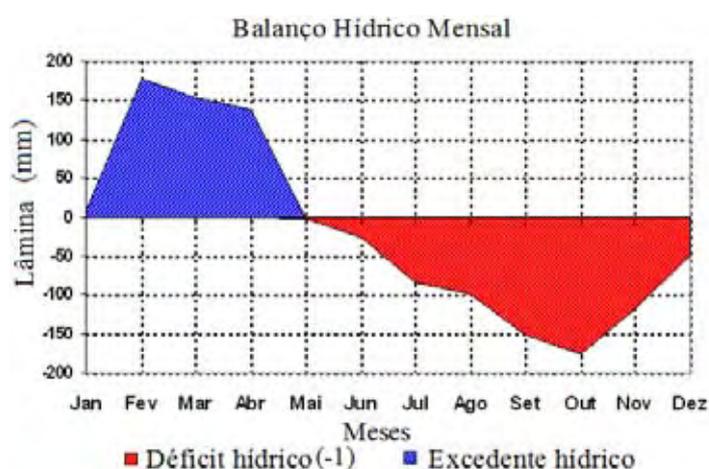


Figura 7. Balanço hídrico da região de Teresina – PI. (Modificado de EMBRAPA, 2003).

Na Tabela 11, apresenta-se a análise estatística das produtividades de colmo para a região de Teresina-PI. Ao comparar a produtividade entre o ambiente irrigado e o de sequeiro, para todas as variedades e épocas de plantio, observou-se que os maiores incrementos de produtividade ocorreram no plantio em janeiro, enquanto os menores valores, para o plantio em setembro. Observou-se também que as maiores produtividades de colmos ocorreram para o plantio em setembro, em todas as variedades estudadas. O resultado obtido indicou que o plantio em janeiro, por ter passado pelas condições climáticas menos favoráveis ao desenvolvimento da cana, resultou em maiores respostas à irrigação. O plantio em setembro apresentou as maiores produtividades e a menor variação de produtividade em relação ao sequeiro, sendo a melhor época de plantio para os ambientes analisados. Segundo Barros (2010), a irrigação na região de Teresina pode aumentar a produção, no entanto o produtor pode atingir uma produtividade superior, ou equivalente, à de um sistema irrigado, utilizando o corte de 1,5 ano após o plantio.

As maiores produções de colmos são apresentadas nos plantios de março e de setembro, sem diferença estatística entre eles; as menores médias de produtividade de colmos foram apresentadas nos plantios de novembro e de janeiro, sem diferença estatística entre elas. Por sua vez, março e setembro diferiram de janeiro e de novembro. Esse comportamento foi observado em todas as variedades analisadas para o sistema de cultivo em sequeiro.

Tabela 11. Análise estatística da produtividade de colmo para a região de Teresina - PI, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT e a % de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro.

| TERESINA | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|----------|----|----------|----------|----|-----------|-----------|----|-----------|----------|----|
| Variedades \ Ambientes | | | | | | | | | | | | |
| Mg.Colmos.ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | |
| | RB 86 7515 | | | CTC 4 | | | CTC 7 | | | CTC 20 | | |
| *Meses | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % |
| JAN | 120,02bB | 146,27aA | 22 | 121,10bB | 143,71aA | 19 | 117,67abB | 140,60abA | 19 | 132,64abB | 149,02aA | 12 |
| MAR | 129,75aB | 148,44aA | 14 | 130,30aB | 147,37aA | 13 | 124,61aB | 144,01aA | 16 | 137,76aB | 150,22aA | 9 |
| SET | 128,21aB | 144,58aA | 13 | 129,48aB | 143,26aA | 11 | 122,31aB | 139,33abA | 14 | 134,34abB | 146,67aA | 9 |
| NOV | 118,53bB | 143,29aA | 21 | 120,65bB | 140,84aA | 17 | 115,40bB | 136,61bA | 18 | 129,69bB | 146,54aA | 13 |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha somente para uma variedade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Meses= época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Para o ambiente irrigado, não se observou diferença significativa entre as épocas de plantio, para as variedades RB86 7515, CTC 4 e CTC 20, havendo diferença entre as épocas apenas para a variedade CTC 7, com o plantio em março resultando em maior produtividade de colmos que o plantio em novembro.

Para as produtividades médias de açúcar, em sistema de plantio em sequeiro, as variedades apresentaram diferenças significativas (Tabela 12). Para a variedade RB86-7515, as épocas de plantio setembro, março e novembro não diferiram entre si, inclusive no fato de todas serem superiores a janeiro. Nas variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, o plantio em setembro gerou maior produtividade de açúcar que em janeiro.

Para o sistema de cultivo irrigado, observou-se que a variedade RB86-7515 apresentou diferença significativa entre o plantio em setembro e em novembro em relação a janeiro. As variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20 não apresentaram diferenças estatísticas entre elas.

Tabela 12. Análise estatística da produtividade de açúcar para a região de Teresina - PI, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT.

| TERESINA | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Variedades \ Ambientes | | | | | | | | |
| Mg.Açúcar.ha ⁻¹ | | | | | | | | |
| | RB 86 7515 | | CTC 4 | | CTC 7 | | CTC 20 | |
| *Meses | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| JAN | 10,89 cB | 14,86 bA | 11,60 bB | 15,98 aA | 12,80 bB | 17,51 aA | 15,87 bB | 19,33 aA |
| MAR | 12,37 bB | 14,99abA | 12,61abB | 15,97 aA | 14,30abB | 17,96 aA | 17,28 aB | 19,20 aA |
| SET | 13,00 aB | 16,38 aA | 13,18 aB | 16,09 aA | 14,44 aB | 18,42 aA | 17,19abB | 19,92 aA |
| NOV | 11,27bcB | 16,41 aA | 11,83abB | 16,60 aA | 13,02abB | 18,05 aA | 16,22abB | 20,60 aA |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha somente para uma variedade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a de 5% probabilidade.

*Meses= época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Nas figuras 8 e 9, apresentam-se as curvas da produtividade média de colmo e de açúcar por hectare, para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para o plantio de ano e meio na região de Teresina - PI.

Para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, o comportamento foi semelhante; as curvas de produtividade de colmo e de açúcar encontram-se no Anexo3.

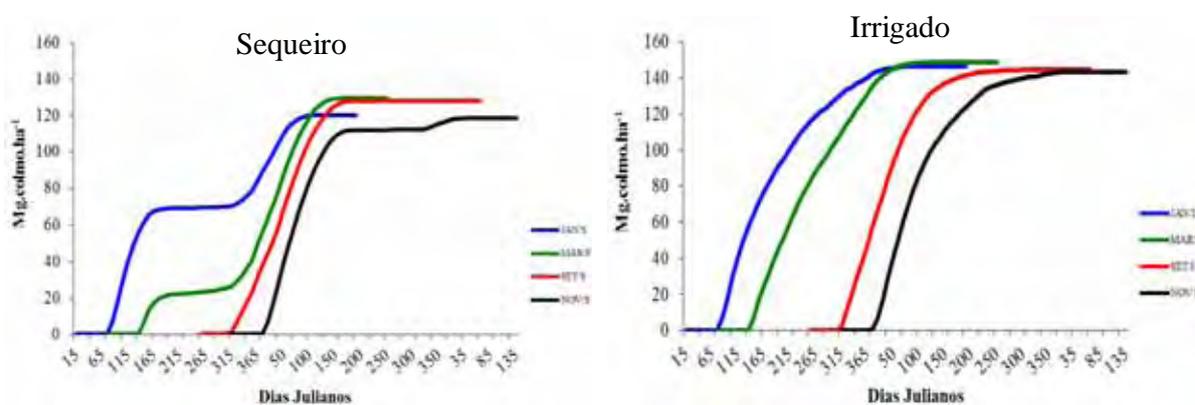


Figura 8. Curva de produtividade de colmo em $\text{Mg.}\text{ha}^{-1}$, para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano.

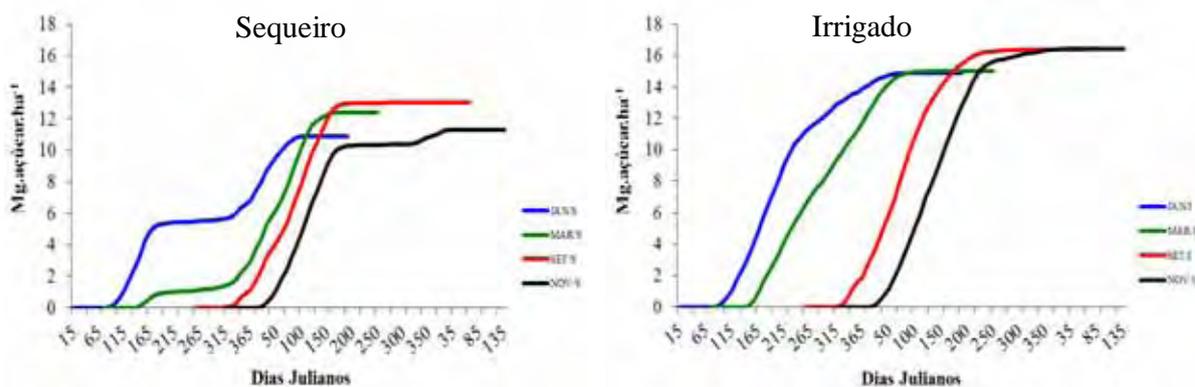


Figura 9. Curva de produtividade de açúcar em $\text{Mg.}\text{ha}^{-1}$, para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano.

4.1.4 Análise de produtividade da região de Petrolina – PE

Na Tabela 13, apresentam-se os valores máximos, mínimos e médios da produtividade de colmo e de açúcar da cana, obtidos por simulação, utilizando o modelo DSSAT, para a região de Petrolina - PE.

Observou-se, através das análises, que o plantio de sequeiro, realizado em diferentes épocas de plantio, apresentou coeficiente de variação (CV) para a produtividade de colmos nas faixas de 17,21 a 20,12%; de 17,39 a 22,52%; de 16,80 a 21,88% e de 17,86 a 25,24%, para as variedades RB 867515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Para o plantio em ambiente irrigado, os CVs variaram de 2,44 a 5,51%; de 3,21 a 10,22%; de 4,24 a 11,49% e de 2,47 a 7,52%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Por se tratar de uma região situada no semiárido nordestino, a ocorrência de chuva é restrita a um período do ano e o total anual de precipitação é insuficiente, gerando déficit hídrico, com grande impacto sobre produtividade.

Para a produção de açúcar no ambiente de sequeiro, os coeficientes de variação foram de 26,79 a 31,05%; de 27,62 a 32,97%; de 26,13 a 32,04% e de 24,93 a 33,80%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC7 e CTC 20, respectivamente. Para o ambiente irrigado, os CVs variaram de 7,30 a 10,59%; de 9,58 a 8,26%; de 8,41 a 20,73% e de 7,40 a 12,3%, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente. Fato semelhante ocorreu com a produtividade de colmo, em que se verificaram os menores CVs no ambiente irrigado.

A variação de produtividade de colmos entre o ambiente irrigado e o de sequeiro esteve entre 85,43 e 95,73%, 78,86 e 91,23%, 79,79 e 93,13% e 72,42 e 87,70%, para as variedade RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, respectivamente.

Tabela 13. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e de açúcar, para a região de Petrolina - PE, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT.

| PETROLINA | | | | | | | | | |
|--|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mg.Colmos.ha ⁻¹ para 1,5 ano de plantio | | | | | | | | | |
| Variedades | | *JAN | | *MAR | | *SET | | *NOV | |
| | | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| RB86 7515 | Máxima | 95,78 | 155,30 | 96,74 | 153,95 | 97,62 | 154,22 | 92,94 | 151,44 |
| | Mínima | 46,39 | 136,06 | 55,27 | 141,64 | 51,59 | 122,32 | 52,01 | 132,13 |
| | Média | 78,48 | 146,25 | 75,18 | 147,15 | 75,17 | 139,39 | 74,12 | 142,96 |
| | CV (%) | 17,99 | 3,43 | 17,21 | 2,44 | 19,66 | 5,51 | 20,12 | 3,45 |
| CTC 4 | Máxima | 98,37 | 150,10 | 96,03 | 149,95 | 94,34 | 149,10 | 98,60 | 148,86 |
| | Mínima | 46,40 | 116,36 | 57,23 | 133,13 | 51,85 | 109,37 | 50,80 | 121,85 |
| | Média | 78,19 | 139,85 | 74,97 | 143,37 | 70,76 | 128,14 | 73,03 | 135,08 |
| | CV (%) | 17,94 | 6,72 | 17,39 | 3,21 | 22,38 | 10,22 | 22,52 | 6,00 |
| CTC 7 | Máxima | 93,97 | 147,91 | 92,08 | 148,40 | 90,98 | 147,81 | 94,74 | 146,10 |
| | Mínima | 44,46 | 107,58 | 54,65 | 126,27 | 49,30 | 102,97 | 50,53 | 114,06 |
| | Média | 75,66 | 136,03 | 72,36 | 139,78 | 67,71 | 122,89 | 71,64 | 131,19 |
| | CV (%) | 18,69 | 8,54 | 16,80 | 4,24 | 21,88 | 11,49 | 21,44 | 7,76 |
| CTC 20 | Máxima | 104,27 | 153,64 | 103,01 | 156,89 | 110,99 | 153,76 | 115,59 | 153,22 |
| | Mínima | 49,91 | 129,87 | 56,84 | 143,50 | 56,84 | 120,66 | 55,56 | 130,42 |
| | Média | 85,10 | 146,73 | 79,29 | 148,83 | 78,64 | 137,14 | 83,46 | 144,14 |
| | CV (%) | 17,72 | 4,20 | 17,86 | 2,47 | 25,24 | 7,52 | 23,59 | 3,82 |
| Mg.Açúcar.ha ⁻¹ para 1,5 ano de plantio | | | | | | | | | |
| Variedades | | JAN | | MAR | | SET | | NOV | |
| | | SEQ | IRR | SEQ | IRR | SEQ | IRR | SEQ | IRR |
| RB86 7515 | Máxima | 14,72 | 21,65 | 11,77 | 19,44 | 13,41 | 21,02 | 11,03 | 21,77 |
| | Mínima | 4,28 | 14,69 | 3,48 | 15,01 | 5,43 | 14,93 | 5,57 | 15,53 |
| | Média | 8,88 | 18,35 | 8,36 | 17,24 | 8,38 | 18,22 | 7,85 | 19,06 |
| | CV (%) | 31,05 | 10,59 | 29,12 | 7,30 | 28,55 | 9,64 | 26,79 | 9,82 |
| CTC 4 | Máxima | 15,94 | 22,04 | 12,34 | 22,44 | 14,38 | 23,06 | 12,32 | 22,55 |
| | Mínima | 4,48 | 13,56 | 3,80 | 14,90 | 5,59 | 12,98 | 5,66 | 14,16 |
| | Média | 9,39 | 19,10 | 8,93 | 18,76 | 8,49 | 17,46 | 8,39 | 18,72 |
| | CV (%) | 31,27 | 12,11 | 27,62 | 9,58 | 32,01 | 18,26 | 32,97 | 13,38 |
| CTC 7 | Máxima | 15,15 | 23,15 | 12,15 | 21,97 | 13,85 | 24,39 | 12,40 | 23,70 |
| | Mínima | 4,18 | 13,60 | 4,85 | 15,64 | 5,47 | 12,70 | 5,50 | 14,68 |
| | Média | 9,30 | 19,65 | 8,86 | 19,63 | 8,26 | 17,92 | 8,55 | 19,35 |
| | CV (%) | 29,96 | 13,18 | 26,13 | 8,41 | 32,04 | 20,73 | 31,68 | 13,81 |
| CTC 20 | Máxima | 17,72 | 25,14 | 14,59 | 25,12 | 16,46 | 25,63 | 17,25 | 25,21 |
| | Mínima | 5,13 | 17,15 | 6,90 | 19,05 | 6,77 | 16,97 | 6,48 | 18,45 |
| | Média | 11,62 | 22,01 | 10,59 | 21,65 | 10,56 | 21,01 | 11,25 | 22,47 |
| | CV (%) | 25,69 | 9,09 | 24,93 | 7,40 | 33,80 | 12,43 | 32,60 | 8,83 |

*Época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Na Figura 10, estampa-se o balanço hídrico para a região de Petrolina - PE, com um período de déficit hídrico prolongado durante o ano todo, indicando ser essencial o uso da irrigação para obter-se boa produtividade.

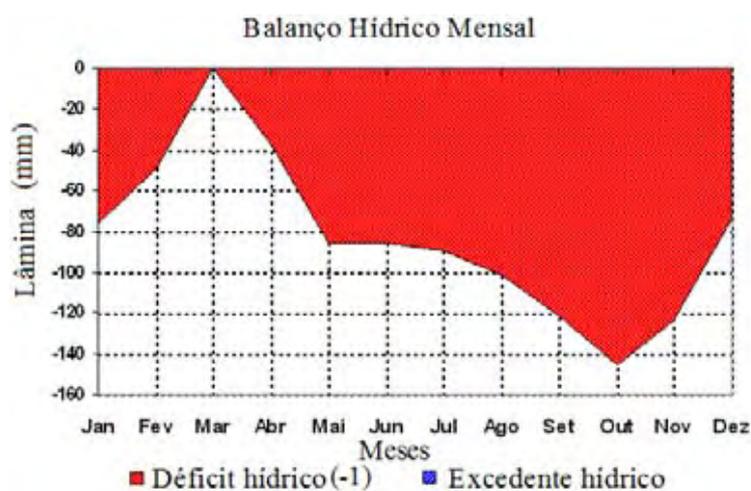


Figura 10. Balanço hídrico da região de Petrolina – PE.(fonte: EMBRAPA, 2003).

Ao comparar a produtividade de colmos entre o ambiente irrigado e o de sequeiro (Tabela 14), para todas as variedades e épocas de plantio, verificou-se que não houve diferença entre as épocas de plantio para nenhuma das variedades, no ambiente de sequeiro. No ambiente irrigado, aconteceu o mesmo para as variedades RB 86-7515 e CTC 20. Na CTC 4 e na CTC 7, a maior produtividade ocorreu no plantio em março e a menor, no plantio em setembro.

A produtividade de colmos em ambiente irrigado foi sempre superior à obtida em condição de sequeiro, para todas as variedades.

Tabela 14. Análise estatística de produtividade de colmo para a região de Petrolina - PE, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT e a % de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro.

| PETROLINA | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|----------|----|---------|-----------|----|---------|-----------|----|---------|----------|----|
| Variedades \ Ambientes | | | | | | | | | | | | |
| Mg.Colmos.ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | |
| | RB 86 7515 | | | CTC 4 | | | CTC 7 | | | CTC 20 | | |
| *Meses | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % | **SEQ | **IRR | % |
| JAN | 78,48aB | 146,25aA | 86 | 78,19aB | 139,85abA | 79 | 75,66aB | 136,03aA | 80 | 85,10aB | 146,73aA | 72 |
| MAR | 75,18aB | 147,15aA | 96 | 74,97aB | 143,37aA | 91 | 72,36aB | 139,78aA | 93 | 79,29aB | 148,83aA | 88 |
| SET | 75,17aB | 139,39aA | 85 | 70,76aB | 128,14bA | 81 | 67,71aB | 122,89bA | 81 | 78,64aB | 137,14aA | 74 |
| NOV | 74,12aB | 142,96aA | 93 | 73,03aB | 135,08abA | 85 | 71,64aB | 131,19abA | 83 | 83,46aB | 144,14aA | 73 |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha somente para uma variedade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Meses= época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Para a produtividade de açúcar (Tabela 15), não houve diferença entre as épocas de plantio, para todas as variedades, nos dois ambientes: sequeiro e irrigado.

Tabela 15. Análise estatística da produtividade de açúcar para a região de Petrolina - PE, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT.

| PETROLINA | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|
| Variedades \ Ambientes | | | | | | | | |
| Mg.Açúcar.ha ⁻¹ | | | | | | | | |
| | RB 86 7515 | | CTC 4 | | CTC 7 | | CTC 20 | |
| *Meses | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| JAN | 8,88 aB | 18,35 aA | 9,39 aB | 19,10 aA | 9,30 aB | 19,65 aA | 11,62 aB | 22,01 aA |
| MAR | 8,36 aB | 17,24 aA | 8,93 aB | 18,76 aA | 8,86 aB | 19,63 aA | 10,59 aB | 21,65 aA |
| SET | 8,38 aB | 18,22 aA | 8,49 aB | 17,46 aA | 8,26 aB | 17,92 aA | 10,56 aB | 21,01 aA |
| NOV | 7,85 aB | 19,06 aA | 8,39 aB | 18,72 aA | 8,55 aB | 19,35 aA | 11,25 aB | 22,47 aA |

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha somente para uma variedade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

*Meses= época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Nas figuras 11 e 12, apresentam-se as curvas da produtividade média de colmo e de açúcar por hectare, para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para o plantio de ano e meio na região de Petrolina - PE.

Observa-se que em sequeiro as curvas de crescimento são desuniformes, diferentemente daquelas do ambiente irrigado em que há um crescimento praticamente linear na maior parte do período avaliado. Esta desuniformidade verificada no ambiente de sequeiro pode ser decorrente do fato do modelo não representar adequadamente a redução ou quebra da produtividade por déficit hídrico.

Para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, o comportamento foi semelhante; as curvas de produtividade de colmo e de açúcar encontram-se no Anexo 4.

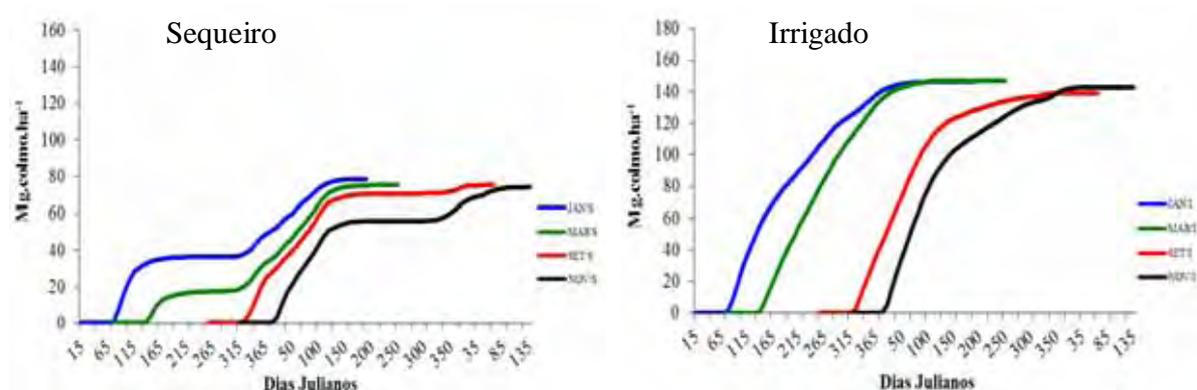


Figura 11. Curva de produtividade de colmo em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano.

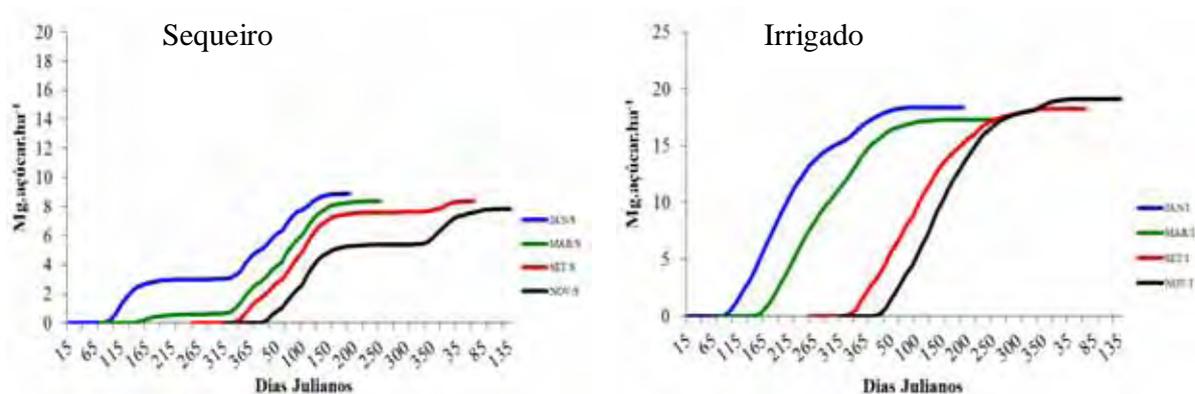


Figura 12. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha^{-1} , para a variedade RB 86 7515, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano.

5 Validação do modelo e melhor época de plantio

Para demonstrar a qualidade do programa de simulação e obter confiabilidade, realizou-se uma comparação entre a produtividade de cana-de-açúcar estimada e a real (obtida em experimento de campo), na região de Jaú – SP, com a variedade RB86 7515. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Demonstrativo da produtividade real e da simulada para a região de Jaú – SP.

| Produtividade | Região (Jaú – SP) | | | |
|---------------|---------------------------|----------|----------------------------|----------|
| | Mg.colmo.ha^{-1} | | Mg.açúcar.ha^{-1} | |
| | Sequeiro | Irrigado | Sequeiro | Irrigado |
| *Real (2007) | 115,8 | 140,9 | 16,4 | 18,7 |
| Simulado | 120,02 | 129,05 | 19,53 | 21,41 |

*De acordo com Gava et al. (2010), os dados reais de produtividade de colmo e açúcar são referentes ao ano de 2007.

Observou-se que os valores simulados ficaram próximos aos experimentais, obtidos por Gava et al. (2011); para o ambiente de sequeiro, na produtividade de colmo, essa diferença entre o real e o simulado não chegou a 4%, enquanto para o ambiente

irrigado, a 9%. Para a produtividade de açúcar, a diferença foi de 19,09% em ambiente de sequeiro e 14,49% no irrigado.

A simulação, realizada pelo modelo DSSAT/CANEGRO, foi bem satisfatória para a região de Jaú - SP, demonstrando a boa utilização do modelo na região. A utilização de modelos matemáticos é de grande importância, pois permite fazer uma previsão de produtividade das lavouras, sem a necessidade de realizar experimentos que poderão levar anos para chegar a um resultado satisfatório; daí a utilização de modelos, principalmente em culturas anuais, como a cana-de-açúcar.

Para Teresina – PI, fez-se a mesma comparação entre a produtividade real e a simulada, com o intuito de visualizar a importância do modelo DSSAT/CANEGRO para realizar a simulação sob o clima semiárido, totalmente oposto ao da região Sudeste do Brasil. Os resultados podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17. Demonstrativo da produtividade real e da simulada para a região de Teresina – PI.

| Região (Teresina – PI) | | | | |
|------------------------|---------------------------|----------|----------------------------|----------|
| Produtividade | Mg.colmo.ha ⁻¹ | | Mg.açúcar.ha ⁻¹ | |
| | Sequeiro | Irrigado | Sequeiro | Irrigado |
| Real | 110,00 | 137,90 | - | 20,30 |
| Simulada | 128,21 | 144,58 | 13,00 | 16,38 |

Fonte: Andrade Júnior et al. (2009).

Os valores experimentais, adotados para o comparativo com os simulados, na região de Teresina - PI, foram retirados do trabalho de Andrade Júnior et al. (2009), cuja área experimental ficava em União – PI, parte da microrregião de Teresina – PI. Para a avaliação, utilizou-se a variedade RB86 7515, muito usada com irrigação, no Nordeste. Na Tabela 18, estão plotadas as melhores épocas para realizar o plantio, através da simulação obtida pelo modelo DSSAT/CANEGRO.

Tabela 18. Melhor época de plantio no ambiente de sequeiro e no irrigado para as regiões avaliadas.

| *Meses | REGIÕES | | | | | | | |
|--------|---------|-------|-------|-------|----------|-------|-----------|-------|
| | BAURU | | JAÚ | | TERESINA | | PETROLINA | |
| | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR | **SEQ | **IRR |
| JAN | | X | | X | | X | – | X |
| MAR | | X | | X | X | X | – | X |
| SET | X | X | X | X | | X | – | X |
| NOV | X | X | | X | | X | – | X |

*Meses= época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.

**SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Observa-se que para Bauru, SP, situado na região Sudeste, o modelo recomenda o plantio em sequeiro nos meses de setembro e em novembro, para todas as variedades, pois há ocorrência de déficit hídrico entre abril e final de setembro (Figura 1); para o ambiente irrigado recomenda-se o plantio em todas as épocas avaliadas, para todas as variedades. Na região de Jaú, o plantio em sequeiro é recomendado para o mês de setembro, devido a ocorrência de déficit no período de junho a final de setembro (Figura 4); com irrigação, recomenda-se o plantio em todas as épocas avaliadas, para todas as variedades.

Para região Nordeste, no ambiente de sequeiro, o modelo recomendou o plantio em março para Teresina, PI, pois há déficit hídrico de maio a final de novembro (Figura 7), podendo comprometer a produtividade caso o plantio seja efetivado nos meses de janeiro, setembro e novembro. Na condição de irrigação, todas as épocas avaliadas são recomendadas, para todas as variedades. A região de Petrolina apresenta um déficit hídrico que se prolonga por todo o ano (Figura 10). Sendo assim, o modelo não recomenda o plantio em ambiente de sequeiro para essa região, somente com a utilização da irrigação, para obter uma boa produtividade, gerando produtividades semelhantes às da região Sudeste.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível observar que a variedade CTC 7 foi a mais responsiva para a região de Bauru – SP; já para a região de Jaú apresentou pequena resposta à irrigação.

Para Teresina – PI e Petrolina, PE, a variedade RB86 7515 mostrou-se a mais responsiva, enquanto a variedade CTC 20 apresentou maiores produtividades, porém foi a menos responsiva à irrigação.

A variedade CTC 7 foi a recomendada para Bauru e Jaú. Para Teresina e Petrolina a variedade recomendada é a RB86 7515, que já vem sendo utilizada na região Nordeste.

7 CONCLUSÕES

Com base nas simulações realizadas e nas comparações com dados experimentais, pode-se concluir que:

- em ambiente de sequeiro, recomenda-se o plantio da cana-de-açúcar de ano e meio em setembro e novembro para Bauru, SP, em setembro para Jaú, SP e em março para Teresina, PI;
- em Petrolina, PE, não se recomenda o plantio em sequeiro dado o déficit hídrico ao longo de todo o ano;
- em ambiente irrigado, não houve diferença da produtividade de colmo em função da época de plantio, para todas as variedades e em todas as regiões avaliadas;
- as produtividades de colmos e de açúcar foram sempre maiores no ambiente irrigado quando comparado com o de sequeiro, em todas as localidades e em todas as variedades avaliadas;
- o modelo de simulação gerou boa estimativa da produtividade de colmos e de açúcar quando comparado aos dados experimentais de Teresina, PI e de Jaú, SP.
- em sequeiro o mês de março é o menos recomendado para as regiões de Bauru e Jaú.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R. et al. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)**. Rome: FAO, 1998. 328 p. (FAO.Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Níveis de irrigação e fertirrigação por gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar. In: XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2009, Juazeiro - BA / Petrolina - PE. **Anais...** Juazeiro - BA / Petrolina - PE : SBEA / UNIVASF, 2009. p. CD-ROM.

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 Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

BARBOSA, E. A. **Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de Salinas – MG**. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2005.

BARROS, A. C. **Utilização do modelo CANEGRO para estimativa da produtividade de cana-de-açúcar irrigada em diferentes regiões do Brasil**. 2011. 128 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

BASSOI, L.H. et al. Distribuição radicular de cultivares de aspargo em áreas irrigadas de Petrolina - PE. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 17-24, mar. 2001.

BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana-de-açúcar**. São Paulo: Alcoolbrás, n.106, 2007. 72-80 p.

BEZUIDENHOUT, C.N. **A model review and proposed mechanistic tiller model for the CANEGRO sugarcane crop model**. 2000. 78 p. MTechTechnikon Natal, Durban, 2000.

BULL, T.; TOVEY, D.A. Aspects of modelling sugarcane growth by computer simulation. In: INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., 1974, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: Sugar Journal, 1974. p. 1021–1032.

COELHO, R. D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192 p. Tese (Livre-Docência em Irrigação) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. acesso em: 23 de agosto de 2012.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Estudo de sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar: subsídios técnicos para a agenda brasileira de bioetanol**. Relatório final. Brasília, 2009. 337 p.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. CTC. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br>>. acesso em : 16 de maio 2012.

DASBERG, S.; OR, D. **Drip Irrigation**. New York: Springer, 1999. 159p.

DE PAULA, A. L. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em ambiente protegido sob diferentes níveis freáticos**. 2010. 149 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (FAO. Riego y Drenaje, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33.

DOURADO NETO, D. et al. Principles of crop modeling and simulation: I. uses of mathematical models in agricultural science. **Sci. agric., Piracicaba**, 55 (número especial), p. 46-50, agosto 1998.

DOURADO NETO, D. et al. Principles of crop modeling and simulation: II. The implications of the objective in model development. **Sci. agric., Piracicaba**, 55 (número especial), p. 51-57, agosto 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>>. acesso em: 16 de maio 2012.

EVANS, R.G.; WU, I-P.; SMAJSTRALA, A.G. Microirrigation systems. In: HOFFMAN, G.J.; EVANS, R.G.; JENSEN, M.E.; MARTIN, D.L.; ELLIOTT, R.L. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASABE, 2007. cap.17, p.632-683.

FARIAS, C.H.A. et al. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FREITAS, P. S. L. et al. Análise econômica de lâminas de água e de doses de nitrogênio, na cultura do milho, *ZeamaysL.*, utilizando o modelo CERES-Maize. **Acta Scientiarum**, v.23, n.5, p.1139-1147, 2001.

GAVA, G. J. C. et al. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejo de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Agriambi**, Campina Grande, v.15, n.3, p. 250-255, 2011.

GODOY, A.P. **Modelagem de processos de acumulação de biomassa e de açúcar da cana-de-açúcar via sistemas nebulosos**. 2007. 254 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

HAMID, M. N.; ABDULLAH, M. Y. Contribution of mathematical model for the development of sustainable agriculture. **Malaysian Journal of Mathematical Sciences**, v. 2 (2), p. 83-91, 2008.

IGLESIAS, E.; GARRIDO, A.; GÓMEZ-RAMOS, A. Evaluation of drought management in irrigated areas. **Agricultural Economics**, v.29, n.2, p.211-229, Oct.2003.

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**, Bethlehem, v. 8, 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.

INMAN-BAMBER, N.G. CANEGRO: its history, conceptual basis, present and future uses. In: ROBERTSON, M.J. (Ed.). **Research and modelling approaches to assess sugarcane production opportunities and constraints**. St. Lucia: University of Queensland, 1995. p. 31-34.

INMAN-BAMBER, N.G.; KIKER, G. **CANEGRO 3.10. DSSAT version 3.1 1998 distribution software**. Honolulu: University of Hawaii, 1997. 78 p.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71-84, 2005.

JONES, J. W. et al. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, Florida, n 18, p. 235-265, 2003.

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

MARQUES, T. A.; SILVA, W. H. Crescimento vegetativo e maturação em três cultivares de cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Unoeste, V. 8, N.1, 2008.

NASSIF, D. S. P. **Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar**. 2010. 92 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

OMETTO, J. C. **Uma equação para estimativa de evapotranspiração potencial; sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e do rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar na região de Piracicaba- SP**. 1974. 129p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.

O’LEARY, G. J. et al. Modeling sugarcane production systems I. development and performance of sugarcane module. **Field Crops Research**, v. 61, p. 253 – 271, 1999.

O’LEARY, G.J. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 97-111, 2000.

PAVAN, W. et al. Padrões de Projeto Aplicados a Modelos de Simulação do Crescimento e Desenvolvimento de Culturas. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, Passo Fundo, v. 1, n. 1, p. 15-29, set. 2009.

SANTOS, M. A. L. **Irrigação suplementar em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**. 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SCALOPPI, E. J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.54-62, 1986.

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

SILVA, L. C. da. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Coruripe-AL**. 2007. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2007.

SINGELS, A. et al. DSSAT v 4.5 Canegro Sugarcane Plant Module. Scientific Documentation. 2008. International Consortium for Sugarcane Modelling.

SKAGGS, R. W. Drainage Simulation Models. In: SKAGGS, R. W.; VAN SCHILFGAARDE, J. (eds.) **Agricultural Drainage**. Wisconsin: Madison, 1999. cap. 13, p. 469-500.

TARJUELO, J. M.; JUAN, J. A. Crop water management. In: VAN LIER, H. N.; PEREIRA, L. S.; STEINER, F. R. (eds.) **CIGR handbook of agricultural engineering: Land and water engineering**. St. Joseph: ASAE, 1999, cap. 5.5, p.380-429

THOMPSON, G.D. Water use by sugarcane. **The South African Sugar Journal**, Durban, v. 60, n. 11, p. 592-600, 1976.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. UDOP variedades. Disponível em: <<http://www.udop.com.br>>. Acesso em: 19 de outubro de 2012.

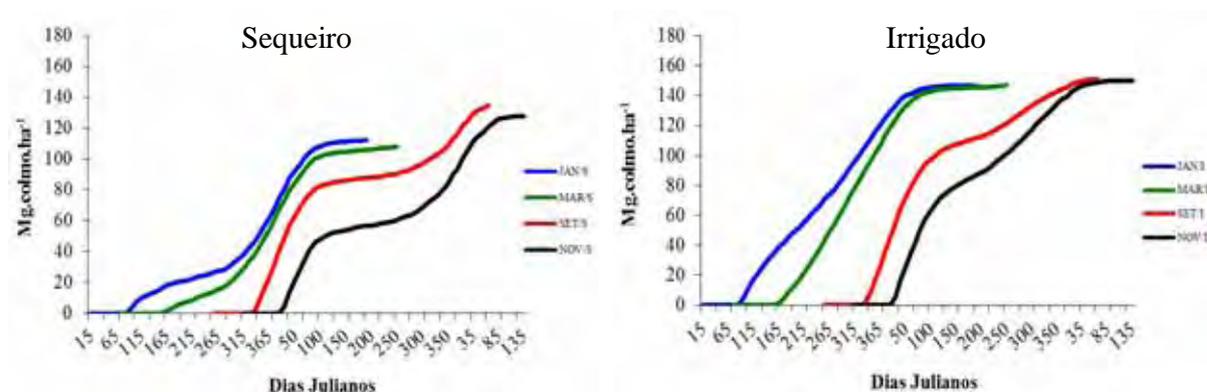
URIBE, R. A. M. **Produtividade e estimativa de acúmulo da biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial com diferentes doses de N-fertilizantes**. 2010. 67 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010.

ANEXO 1

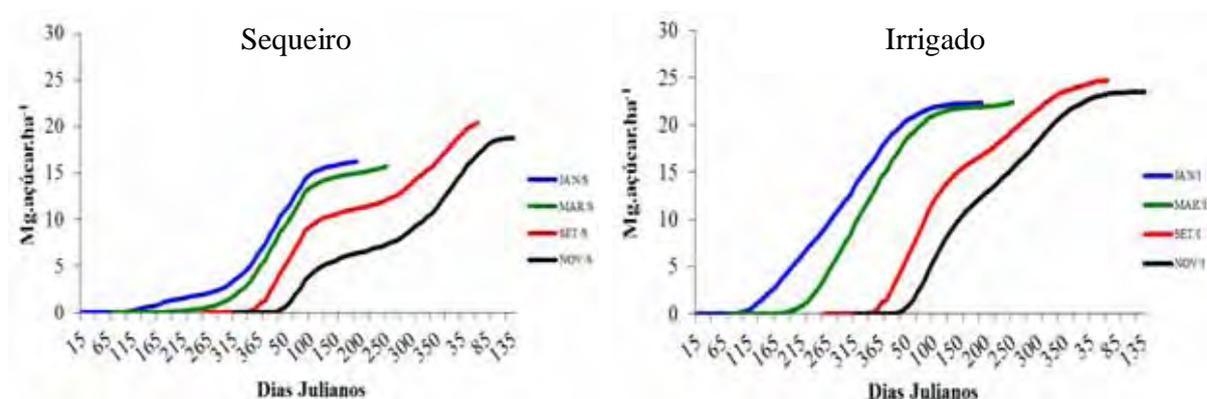
Gráficos de produtividade de colmo e de açúcar na região de Bauru - SP

Observa-se que, ao utilizar a irrigação, obtém-se uma produtividade mais linearizada, o que não ocorreu sob a condição de sequeiro.

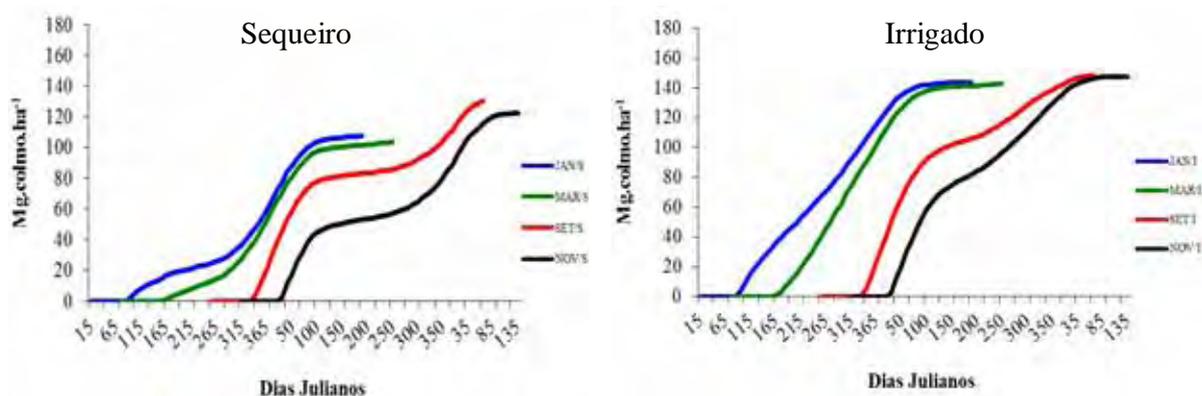
Nos anexos 1A, 1B, 1C, 1D, 1E e 1F, apresentam-se as curvas de produtividade para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, na região de Bauru-SP, com comportamento semelhante ao discutido anteriormente.



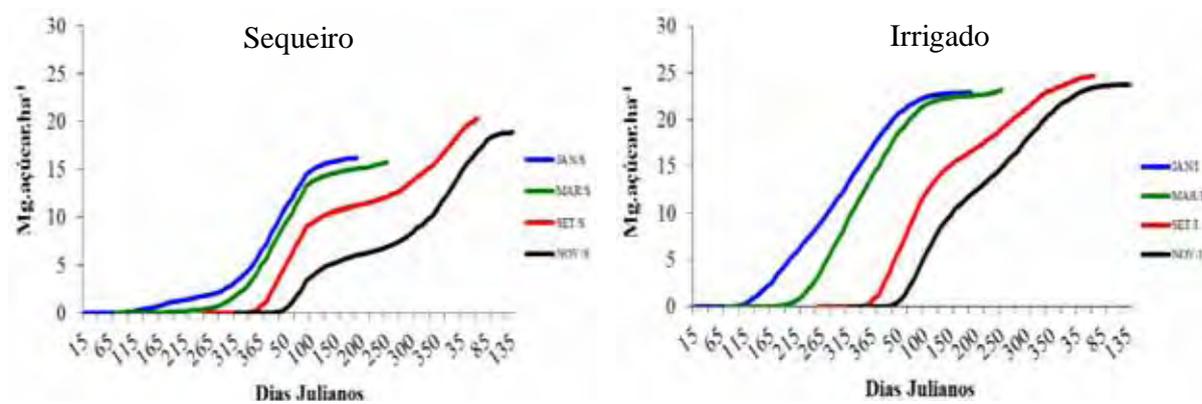
ANEXO 1A – Curva de produtividade de colmo em $\text{Mg.}\text{ha}^{-1}$, para a variedade CTC 4, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.



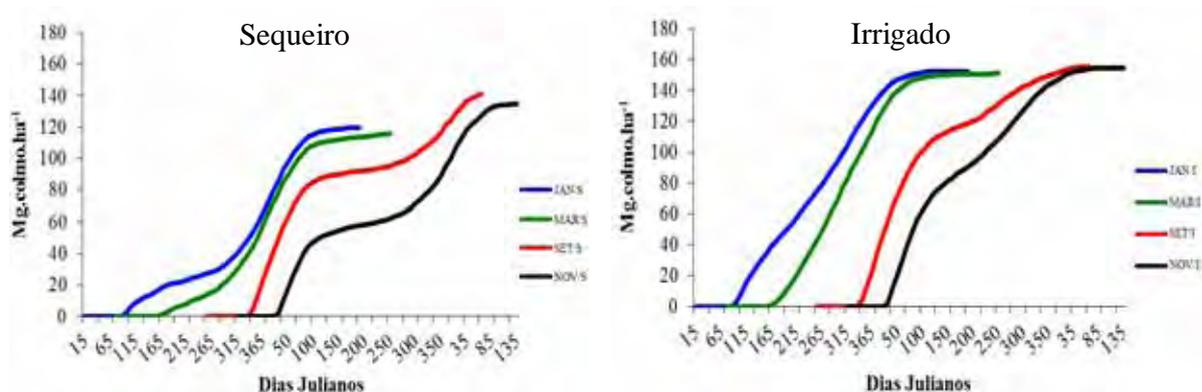
ANEXO 1B – Curva de produtividade de açúcar em $\text{Mg.}\text{ha}^{-1}$, para a variedade CTC 4, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.



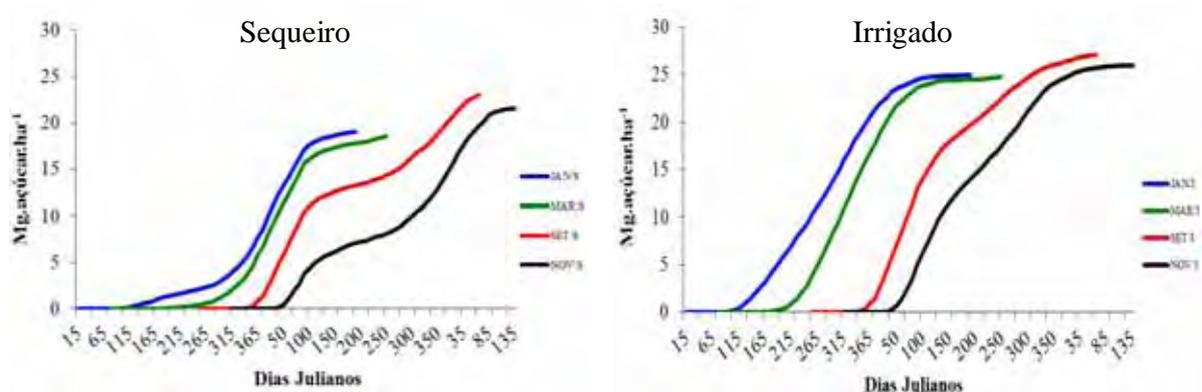
ANEXO 1C – Curva de produtividade de colmo em Mg.ha⁻¹, para a variedade CTC 7, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.



ANEXO 1D – Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha⁻¹, para a variedade CTC 7, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.



ANEXO 1E – Curva de produtividade de colmo em Mg.ha^{-1} , para a variedade CTC 20, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.



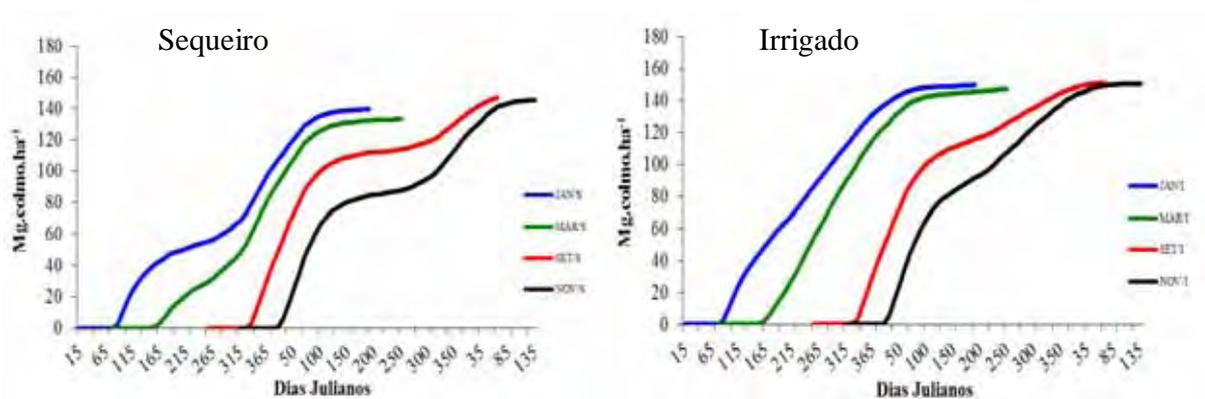
ANEXO 1F – Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha^{-1} , para a variedade CTC 20, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Bauru – SP, no período de 1,5 ano.

ANEXO 2

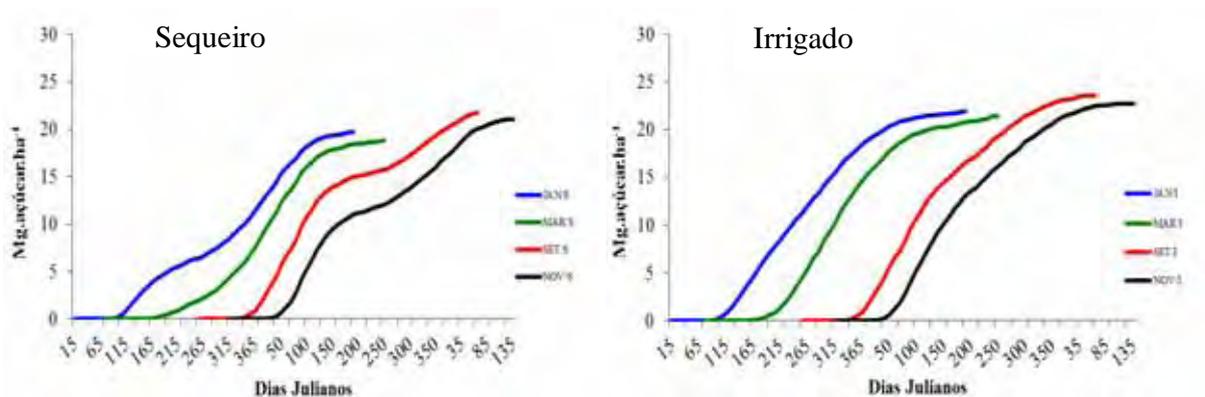
Gráficos de produtividade de colmo e de açúcar na região de Jaú - SP

Observa-se que ao utilizar a irrigação obtêm-se uma produtividade mais linearizada, ocorrendo o inverso sob a condição de sequeiro.

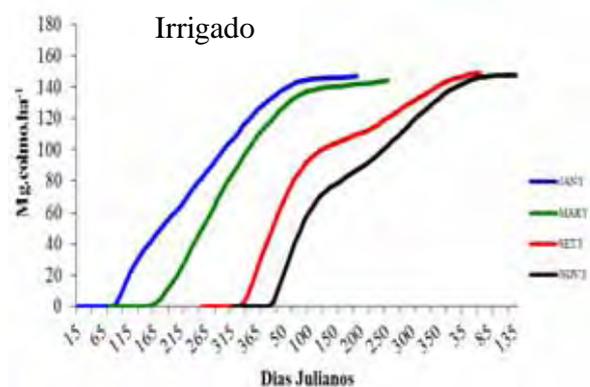
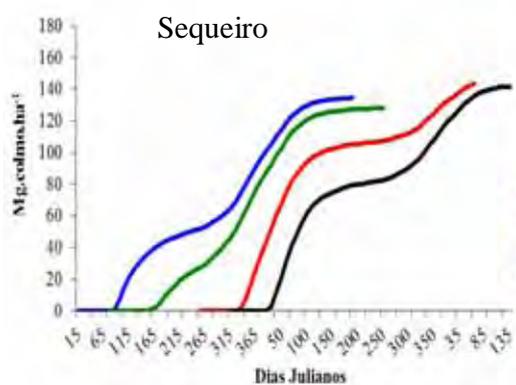
Nos anexos 2A, 2B, 2C, 2D, 2E e 2F, apresentam-se as curvas de produtividade para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, na região de Jaú - SP, com comportamento semelhante ao discutido anteriormente.



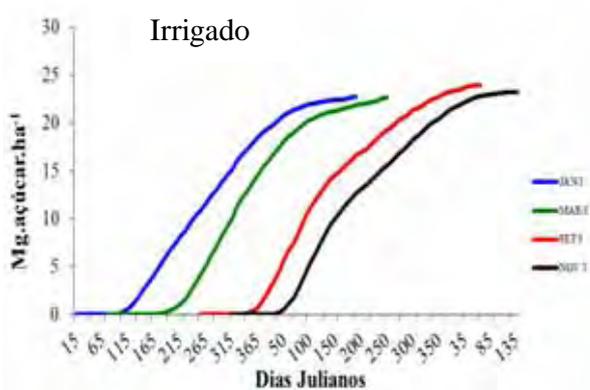
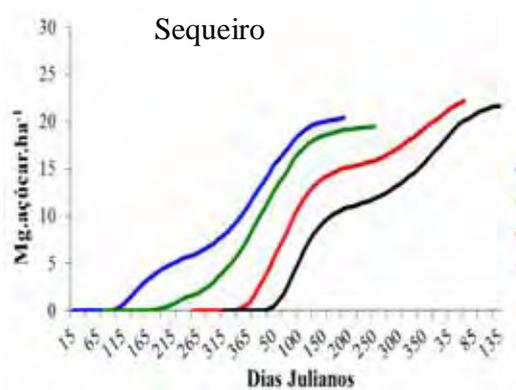
ANEXO 2A. Curva de produtividade de colmo em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para a variedade CTC 4, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano.



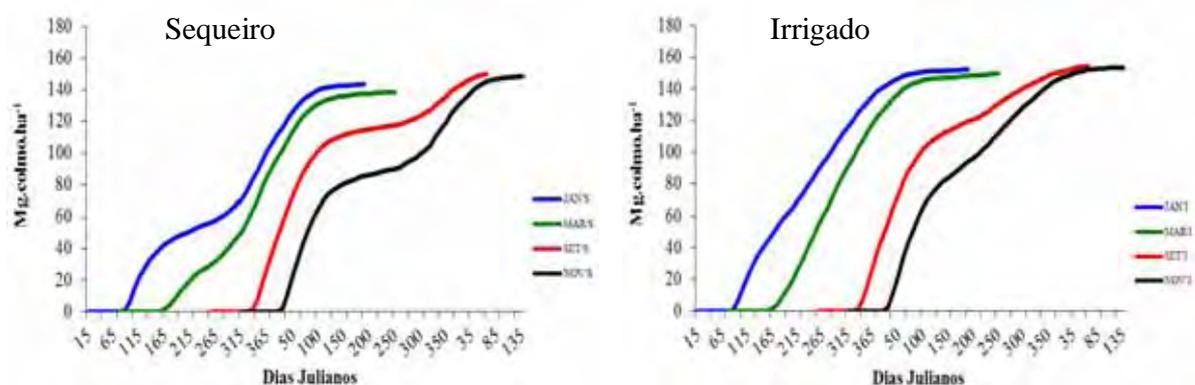
ANEXO 2B. Curva de produtividade de açúcar em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para a variedade CTC 4, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano.



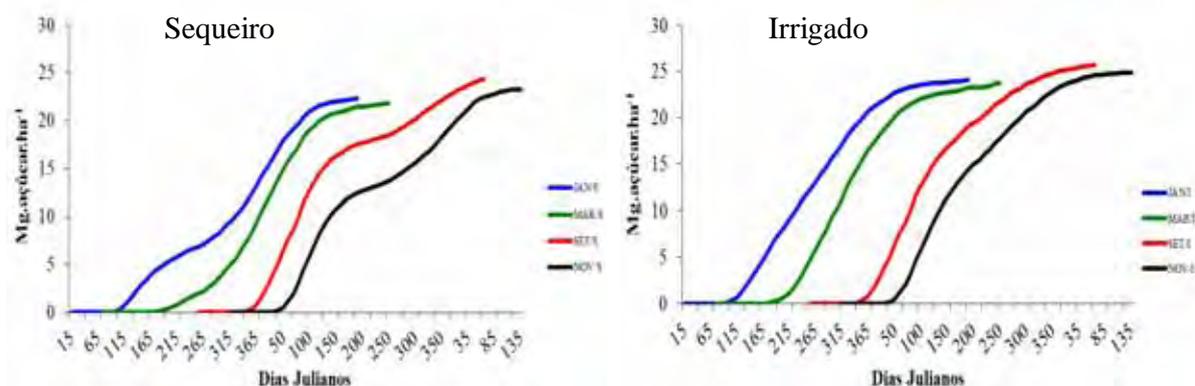
ANEXO 2C. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha⁻¹, para a variedade CTC 7, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano.



ANEXO 2D. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha⁻¹, para a variedade CTC 7, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano.



ANEXO 2E. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha⁻¹, para a variedade CTC 20, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano.



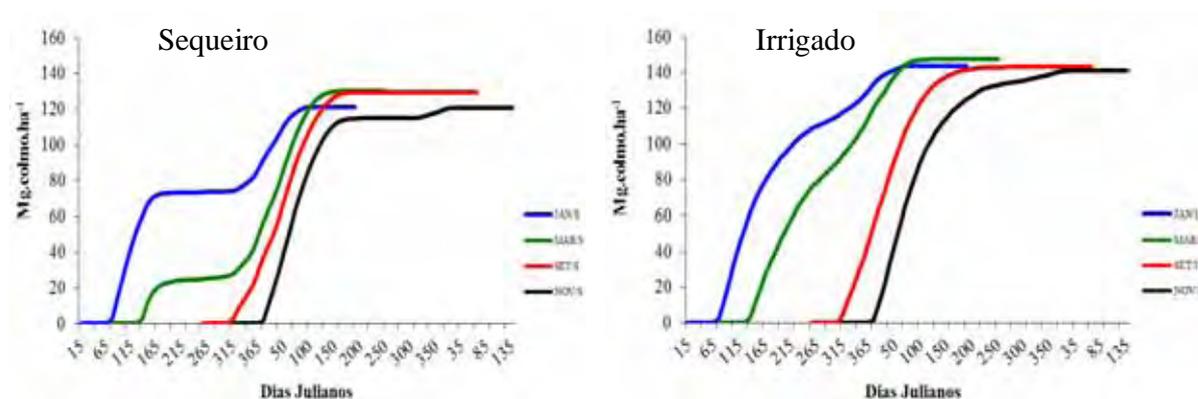
ANEXO 2F. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha⁻¹, para a variedade CTC 20, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Jaú – SP, no período de 1,5 ano.

ANEXO 3

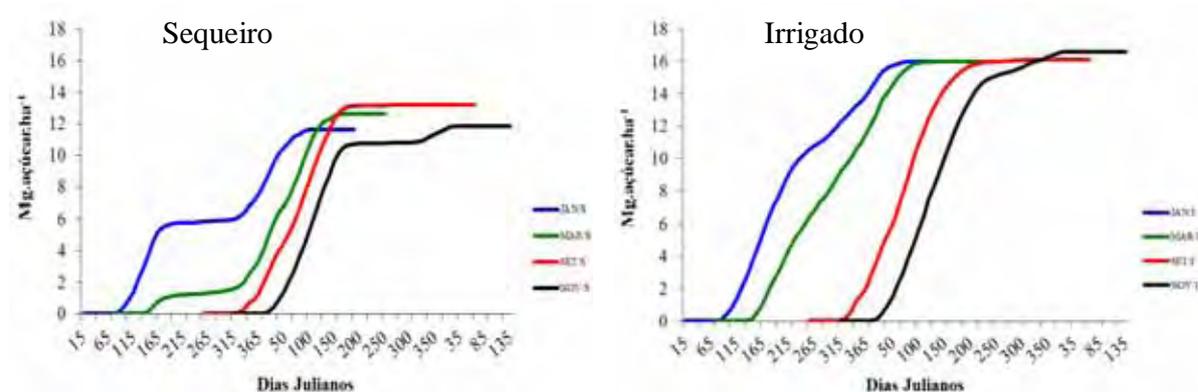
Gráficos de produtividade de colmo e de açúcar na região de Teresina - PI

Observa-se que ao utilizar a irrigação obtêm-se uma produtividade mais linearizada, ocorrendo o inverso sob condição de sequeiro.

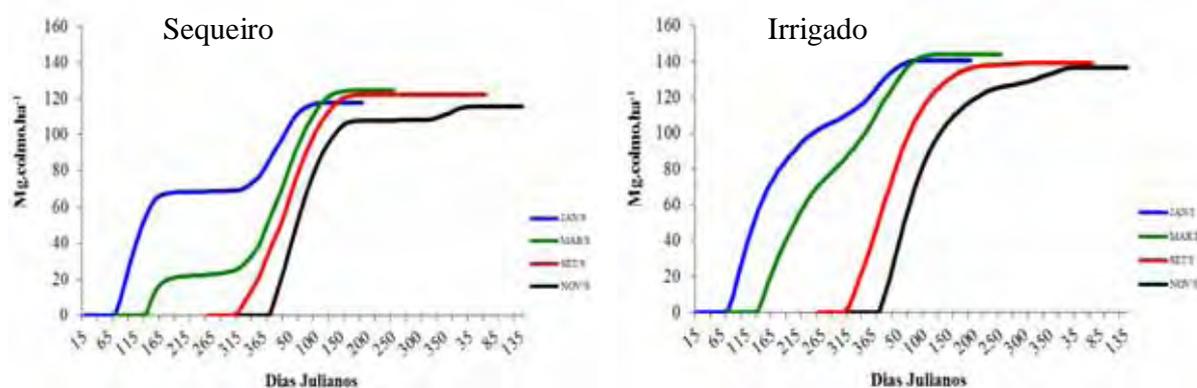
Nos anexos 3A, 3B, 3C, 3D, 3E e 3F, apresentam-se as curvas de produtividade para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, na região de Teresina - PI, com comportamento semelhante ao discutido anteriormente.



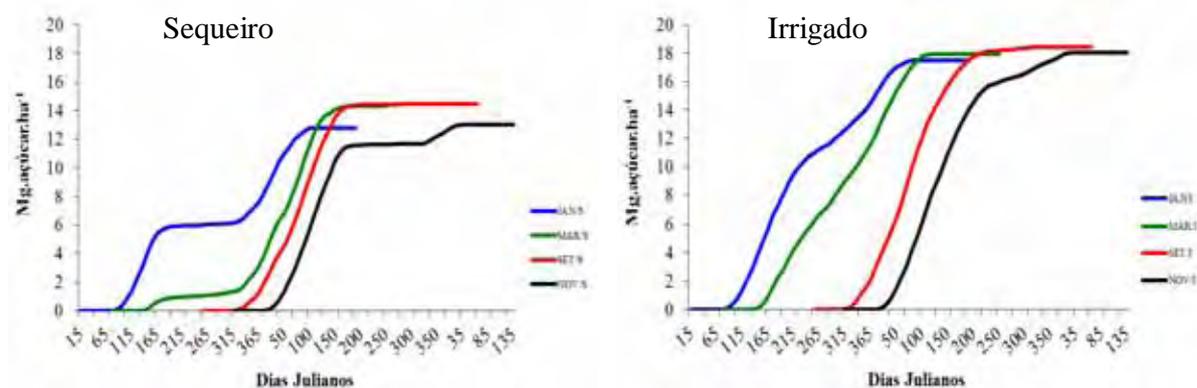
ANEXO 3A. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha^{-1} , para a variedade CTC 4, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano.



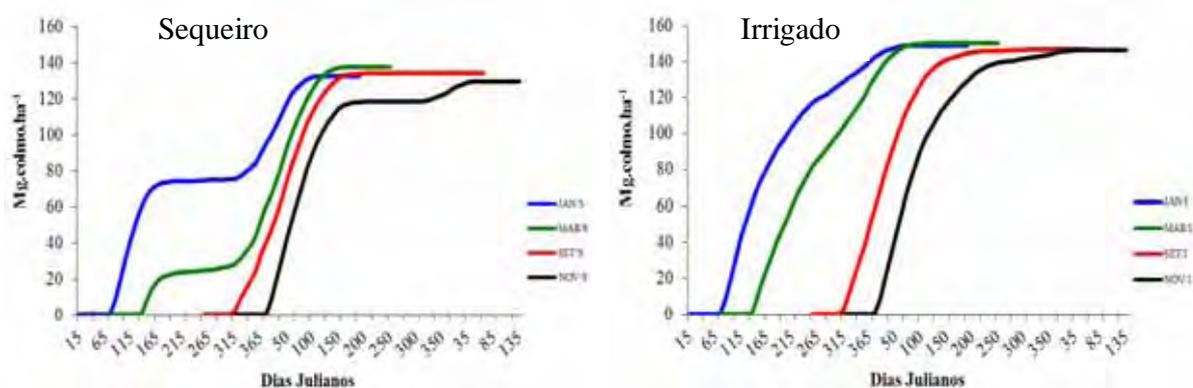
ANEXO 3B. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha^{-1} , para a variedade CTC 4, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano.



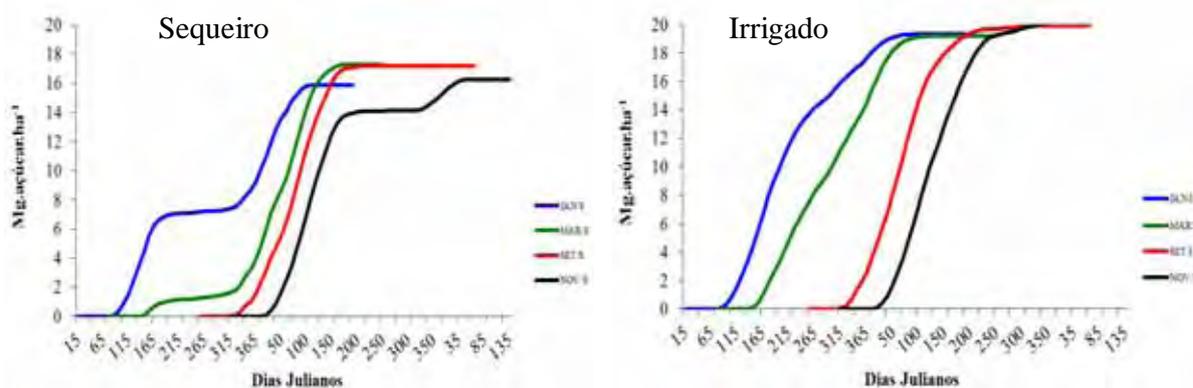
ANEXO 3C. Curva de produtividade de colmo e açúcar em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para a variedade CTC 7, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano.



ANEXO 3D. Curva de produtividade de colmo e açúcar em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para a variedade CTC 7, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano.



ANEXO 3E. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha^{-1} , para a variedade CTC 20, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano.



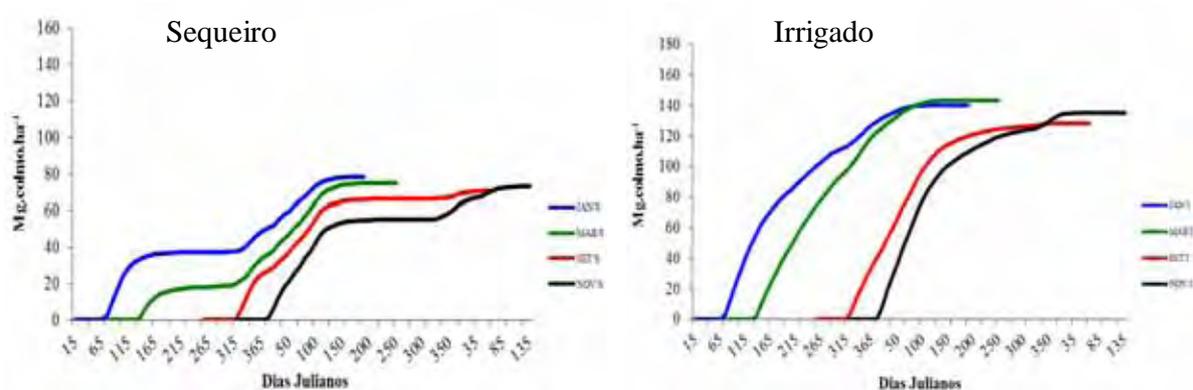
ANEXO 3F. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha^{-1} , para a variedade CTC 20, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Teresina – PI, no período de 1,5 ano.

ANEXO 4

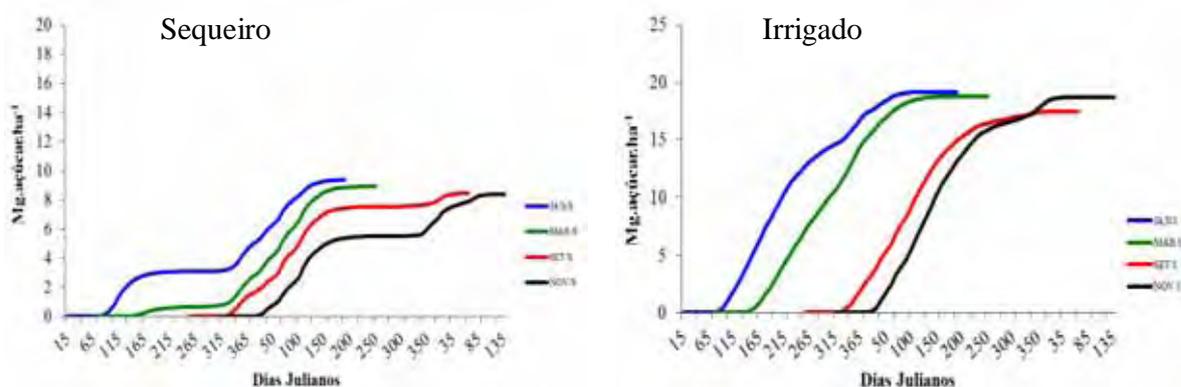
Gráficos de produtividade de colmo e de açúcar na região de Petrolina - PE

Observa-se que ao utilizar a irrigação, obteve-se uma produtividade mais linearizada, ocorrendo o inverso sob a condição de sequeiro.

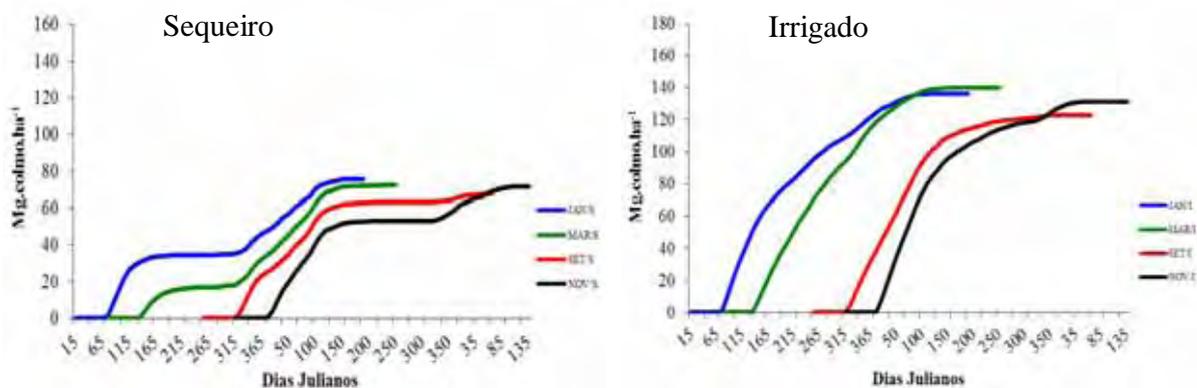
Nos anexos 4A, 4B, 4C, 4D, 4E e 4F, apresentam-se as curvas de produtividade, para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20, na região de Petrolina - PE, com comportamento semelhante ao discutido anteriormente.



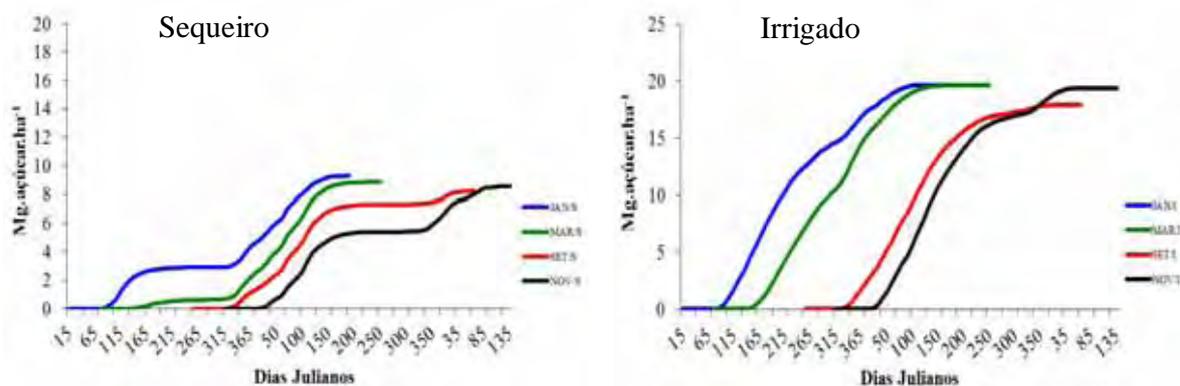
ANEXO 4A. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha⁻¹, para a variedade CTC 4, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano.



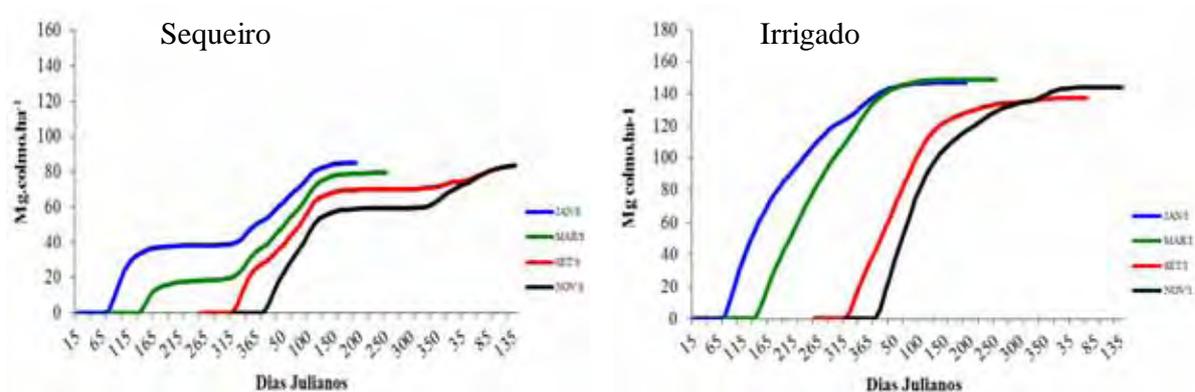
ANEXO 4B. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha⁻¹, para a variedade CTC 4, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano.



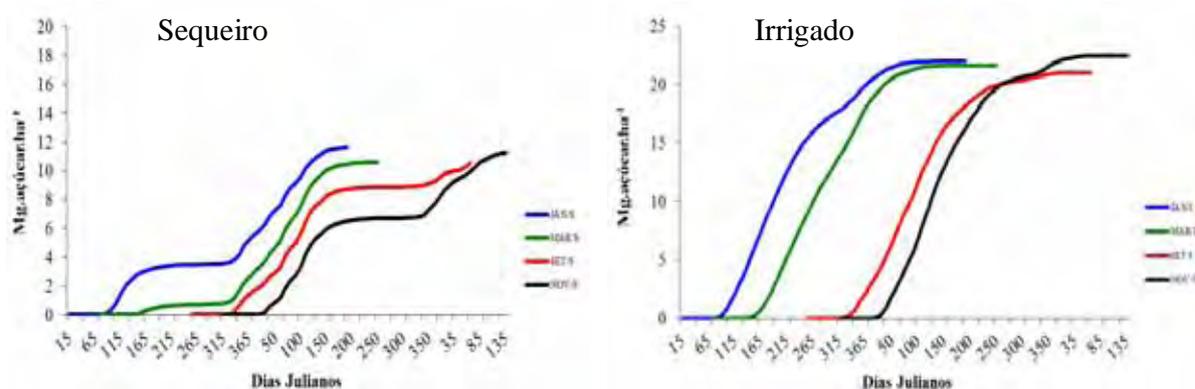
ANEXO 4C. Curva de produtividade de colmo em Mg.ha^{-1} , para a variedade CTC 7, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano.



ANEXO 4D. Curva de produtividade de açúcar em Mg.ha^{-1} , para a variedade CTC 7, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano.



ANEXO 4E. Curva de produtividade de colmo em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, para a variedade CTC 20, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano.



ANEXO 4F. Curva de produtividade de açúcar em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, para a variedade CTC 20, em ambiente de sequeiro e irrigado, para a região de Petrolina – PE, no período de 1,5 ano.