

## PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L) PARA A REGIÃO SUDESTE DO BRASIL UTILIZANDO O MODELO DSSAT

ANTHONY WELLINGTON ALMEIDA GOMES<sup>1</sup>; ALLAN CUNHA BARROS<sup>2</sup>;  
ADRIANA AKI TANAKA<sup>3</sup> E JOÃO CARLOS CURY SAAD<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, Adjunto I, UFRPE/ Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns, Avenida Bom Pastor s/n, Boa Vista, CEP 55292-270, Garanhuns, PE, Brasil, [anthony.gomes@ufrpe.br](mailto:anthony.gomes@ufrpe.br)

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Curso agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Av. Manoel Severiano Barbosa, s/n. Arapiraca – AL. e-mail: [allan-cunha@hotmail.com](mailto:allan-cunha@hotmail.com)

<sup>3</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Irrigação e Drenagem, Julia Brasileiro Vila Nova, Boa Vista, CEP 55292-750, Garanhuns, PE, [dritanak@hotmail.com](mailto:dritanak@hotmail.com)

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor, UNESP/Faculdade de Ciências Agronômicas -Campus de Botucatu, Departamento de Engenharia Rural, Fazenda Lageado, Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307 – Botucatu, SP, [joaosaad@fca.unesp.br](mailto:joaosaad@fca.unesp.br)

### 1 RESUMO

O trabalho utilizou o modelo de simulação DSSAT/CANEGRO (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) com o objetivo de simular a produtividade potencial de colmo e de açúcar da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na região Sudeste do Brasil (Bauru-SP e Jaú-SP), analisando quatro variedades, em quatro diferentes épocas de plantio e considerando dois cenários: sequeiro e irrigado. As 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 nível de 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; e em setembro para Jaú, SP. Com irrigação, 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 comparadas com as de sequeiro, nas quatro variedades avaliadas e nas duas localidades. O modelo apresentou boa estimativa da produtividade de colmos e de açúcar quando comparado aos dados experimentais de Jaú, SP.

**Palavras - chave:** simulação, cana-de-açúcar irrigada, sequeiro.

GOMES, A. W. A; BARROS, A. C; TANAKA, A. A; SAAD, J. C. C.  
SUGARCANE PRODUCTIVITY USING DSSAT MODEL IN THE SOUTHEAST  
REGION OF BRAZIL

## 2 ABSTRACT

This work used the DSSAT/CANEGRO (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) simulation model to simulate the stem and sugar potential productivity of sugarcane cultivated in the Southeast (Bauru-SP and Jaú-SP) region, analyzing four varieties in different planting dates and two scenarios: rainfed and irrigated. The sugarcane varieties 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 occur in September and November for Bauru, SP, and in September at Jaú, SP. In irrigated environment, there was no difference in stem productivity according to the planting date, for all evaluated regions and for all varieties. The stem and sugar productivities were always higher in irrigated environment when compared to the rainfed, in all locations and in all varieties. The simulation model generated good estimates of stem and sugar yields compared to experimental data from Jaú, SP.

**Keywords:** simulation, irrigated sugarcane, rainfed.

## 3 INTRODUÇÃO

Na safra 2016/17, a cultura da cana-de-açúcar ocupou 8,65 milhões de ha no Brasil, produzindo 657,18 milhões de toneladas de colmos, sendo que a região Sudeste contribuiu com 5,70 milhões de ha, gerando 435,96 milhões de toneladas de colmos (CONAB, 2017).

A ocorrência de veranicos e a distribuição irregular das chuvas causam redução na produção e na longevidade dos canaviais na região Sudeste do Brasil. O incremento da produção de cana-de-açúcar no país envolve não só o aumento da área cultivada, existindo outras possibilidades como o desenvolvimento de variedades resistentes à seca, além da adoção da irrigação.

A irrigação é uma poderosa técnica para o aumento da produção, no entanto a viabilidade econômica e os impactos ambientais devem ser avaliados previamente.

Desta forma, a utilização de modelos matemáticos para simular a produtividade, avaliar o potencial do uso da irrigação e a

variedade que melhor se adapta à região estudada é de fundamental importância.

No processo de tomada de decisão de investimento, os modelos de simulação possibilitam a previsão de cenários, fundamentando decisões que podem resultar em menores custos e maiores produtividades, indicando se o plantio de determinada cultivar tem viabilidade econômica (HAMID e ABDULLAH, 2008). Os dois principais modelos de simulação do desenvolvimento da cana-de-açúcar, segundo O'Leary (2000), são o APSIM (Agricultural Production System Simulator) e o CANEGRO, que foi incluído no Sistema para Suporte à Decisão de Transferência de Agrotecnologia ("Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT), tornando-se o DSSAT-CANAGRO.

Segundo Barros (2011), o modelo Apsim tem como principal vantagem o grande número de módulos auxiliares para a simulação. Por sua vez, o modelo DSSAT/CANEGRO destaca-se pela simplicidade de uso, sendo de fácil compreensão ao usuário, razão pela qual foi escolhido para ser aplicado nesta pesquisa.

Este trabalho teve duas hipóteses para a cana-de-açúcar de ano e meio na região Sudeste do Brasil: a) em condição de sequeiro, a época de plantio tem influência na produtividade da cana-de-açúcar de ano e meio; b) com irrigação, obtêm-se produtividade semelhante independente da época de plantio.

O presente trabalho teve como objetivo simular a produtividade de colmo e de açúcar da cultura de cana-de-açúcar em épocas distintas de plantio, nas condições de sequeiro e irrigada, utilizando o modelo DSSAT/CANEGRO aplicado em Bauru e Jaú, SP, região sudeste do Brasil.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Dados meteorológicos de um período de 15 anos foram obtidos nas estações meteorológicas localizadas nas cidades de Jaú e Bauru, São Paulo, visando realizar as simulações que envolveram 4 épocas de plantio, 4 variedades e dois ambientes.

**Tabela 1.** Épocas de plantio e de colheita, para cana-de-açúcar de ciclo de 18 meses.

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

Utilizou-se as nomenclaturas: janeiro, março, setembro e novembro, para nomear as épocas de plantio; os ambientes, sem irrigação (sequeiro) e com irrigação (irrigado), e, as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20, para a discussão dos dados.

Os dados resultantes das simulações foram submetidos à análise de variância, realizando-se um fatorial triplo (2x4x4), totalizando 32 tratamentos em delineamento

Seguindo metodologia apresentada por Barros (2012), quatro diferentes épocas de plantio forma simuladas por região, a saber: 15/01 (Dia Juliano 15), 15/03 (Dia Juliano 74), 15/09 (Dia Juliano 258) e 15/11 (Dia Juliano 319). Para todas as épocas de plantio e variedades, adotou-se o tempo de 18 meses (cana de “ano e meio”) entre o plantio e a colheita.

As simulações foram realizadas para dois cenários, sem irrigação (sequeiro) e com irrigação (irrigado), e quatro variedades: RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20.

O modelo DSSAT assume que quando a umidade atinge o nível crítico, aplica-se a lâmina requerida para elevar a umidade até a condição de capacidade de campo. Considerou-se a irrigação por aspersão e a profundidade efetiva do sistema radicular para fins de manejo hídrico foi considerada como sendo de 70 cm. A Tabela 1 apresenta as quatro diferentes épocas de plantio e as respectivas datas de colheita, considerando ciclo de 18 meses.

inteiramente casualizado. 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 produtividade de colmo e produtividade de açúcar. Além disso, também se realizou uma análise baseada nas medidas de tendência central e de variabilidade dos dados (coeficiente de variação, mínimo, média e máximo).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Condições climáticas nas regiões de Bauru e Jaú, SP

As médias mensais de temperatura máxima e mínima, precipitação e radiação de um período de 15 anos para as duas regiões analisadas são apresentadas nas Tabelas 2a e 2b. Tanto Bauru como Jaú, SP tiveram baixa precipitação durante os meses de junho e agosto, bem como valores maiores que a média nos meses de novembro a março.

Quanto à temperatura, em Bauru, as temperaturas máximas foram observadas nos meses de dezembro, fevereiro e março, caracterizando-os como os mais quentes para a região, sendo junho e julho os mais frios. Em Jaú as temperaturas máximas ficaram entre 25 e 30 °C durante todo o ano, com fevereiro e março sendo os meses mais quentes; por sua vez, junho e julho foram os meses mais frios. As duas regiões apresentaram menor radiação nos meses de junho e julho.

**Tabela 2a.** Média dos dados climatológicos das estações da região de Bauru, no Estado de São Paulo, para um período de 15 anos.

<b>Bauru - SP</b>	<b>Tmáxima*</b>	<b>Tmínima*</b>	<b>Precipitação*</b>	<b>Radiação*</b>
Janeiro	27,95	19,93	324,53	18,63
Fevereiro	29,88	19,65	132,30	19,47
Março	29,41	19,28	92,77	18,11
Abril	28,37	17,62	48,66	15,85
Mai	24,89	14,45	43,52	13,65
Junho	24,59	13,91	23,90	12,60
Julho	24,80	13,66	41,99	12,98
Agosto	27,12	14,43	26,78	16,01
Setembro	28,10	15,89	46,21	17,81
Outubro	29,14	17,10	87,24	20,03
Novembro	29,52	17,94	115,74	20,87
Dezembro	29,81	19,10	166,42	20,36

**Tabela 2b.** Média dos dados climatológicos das estações da região de Jaú, no Estado de São Paulo, para um período de 15 anos.

Jaú - SP	Tmáxima*	Tmínima*	Precipitação*	Radiação*
Janeiro	29,95	19,62	282,49	16,36
Fevereiro	30,72	19,55	167,86	17,06
Março	30,62	18,95	122,80	15,95
Abril	29,50	16,97	57,16	14,12
Mai	26,23	13,07	61,11	12,59
Junho	25,83	12,47	37,48	12,42
Julho	26,19	12,20	38,79	12,08
Agosto	28,25	13,46	29,33	13,84
Setembro	29,47	14,99	56,93	14,26
Outubro	30,53	17,08	89,35	15,47
Novembro	30,39	17,66	132,94	16,11
Dezembro	30,37	18,87	193,39	17,17

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

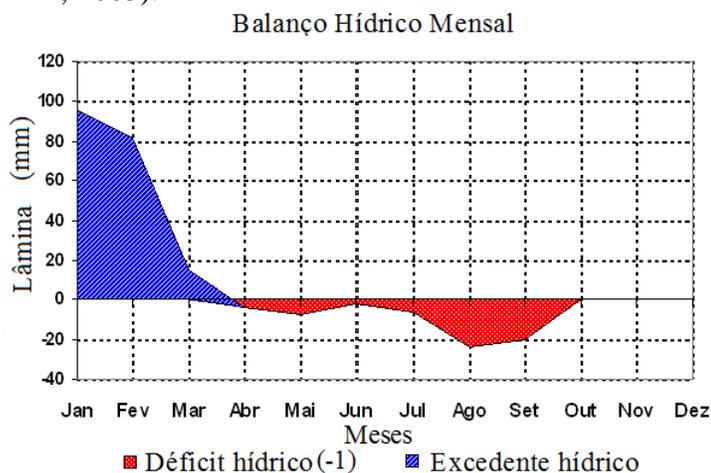
\*Precipitação pluviométrica - (mm)

\*Radiação - (MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>)

O balanço hídrico para a região de Bauru, SP é apresentado na Figura 1, evidenciando a ocorrência de déficit hídrico no período de abril a setembro. Desta forma, os plantios de cana-de-açúcar realizados em

janeiro e em março, sem irrigação, tem potencial de queda de sofrer redução de produtividade por déficit de água na etapa inicial do desenvolvimento da cultura.

**Figura 1.** Representação do balanço hídrico para a região de Bauru – SP. (Modificado de EMBRAPA, 2003).



## 5.2 Análise de produtividade da região de Bauru-SP

Utilizando o modelo DSSAT foram obtidos por simulação as produtividades de colmos e de açúcar, para a região de Bauru-SP (Nas Tabelas 3a e 3b).

Um indicador do risco de redução de produtividade no período de anos avaliados é coeficiente de variação (CV), conforme BARROS, 2011. Para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20 os coeficientes de variação para a produtividade de colmos, na condição de sequeiro, variaram 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%, respectivamente. Para o plantio irrigado, os CVs apresentaram menor variação, sendo 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. Os maiores valores de CV em sequeiro indicam justamente a dependência climática da

produção de colmos e o efeito da distribuição irregular das chuvas, a qual varia anualmente.

Avaliando todas as fontes de variação na simulação, ou seja, ambiente irrigado e de sequeiro, todas as variedades e épocas de plantio, notou-se que os maiores incrementos de produtividade de colmo ocorreram no plantio em março; por sua vez, o plantio em setembro resultou nas menores variações entre produtividade máxima e mínima. Por sua vez, as maiores produtividades de colmo ocorreram no plantio em setembro, em todas as variedades avaliadas, tanto na condição em sequeiro quanto na irrigada.

Na condição em sequeiro, as piores condições climáticas para o desenvolvimento da cana-de-açúcar ocorreram para o plantio em março, justamente quando se teve o maior incremento de produtividade quando irrigado. No entanto, a melhor época de plantio, tanto para sequeiro quanto irrigado, é em setembro, pois indicou maior produtividade e menor variação de produtividade em relação entre os cenários com e sem irrigação.

**Tabela 3a.** Produtividade de colmos de cana-de-açúcar para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT, nos meses de Janeiro e Março.

<b>BAURU - SP</b>					
<b>Mg de Colmos.ha<sup>-1</sup> (cana-de-açúcar de 1,5 ano)</b>					
<b>ÉPOCA DE PLANTIO</b>					
<b>Variedade</b>		<b>JAN</b>		<b>MAR</b>	
		<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>	<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>
RB86 7515	Máxima	138,45	156,85	136,48	154,69
	Mínima	85,30	145,61	68,68	146,47
	Média	113,32	150,14	109,31	149,38
	CV(%)	16,11	2,35	18,33	1,99
CTC 4	Máxima	138,94	155,27	135,55	154,12
	Mínima	84,22	135,88	67,74	142,35
	Média	112,25	146,80	108,43	147,09
	CV(%)	16,61	4,07	19,01	2,41
CTC 7	Máxima	134,74	152,37	129,48	151,16
	Mínima	80,51	129,17	65,32	134,79
	Média	107,41	143,58	103,92	143,32
	CV(%)	16,88	5,14	18,59	3,47
CTC 20	Máxima	144,43	162,16	143,94	157,32
	Mínima	89,51	145,66	74,09	147,59
	Média	119,70	152,55	116,22	151,48
	CV(%)	15,73	3,20	17,90	1,88

**Tabela 3b.** Produtividade de colmos de cana-de-açúcar para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT, nos meses de Setembro e Novembro.

BAURU - SP					
Mg de Colmos.ha <sup>-1</sup> (cana-de-açúcar de 1,5 ano)					
Variedade		ÉPOCA DE PLANTIO			
		SET		NOV	
		SEQ	IRR	SEQ	IRR
RB86 7515	Máxima	151,39	160,17	148,30	160,05
	Mínima	108,78	148,00	108,21	142,99
	Média	135,48	153,24	126,99	151,19
	CV(%)	10,86	2,57	10,61	3,06
CTC 4	Máxima	152,43	158,22	146,70	156,55
	Mínima	108,06	148,43	108,11	143,26
	Média	136,33	151,30	127,93	149,99
	CV(%)	10,58	1,76	10,20	2,05
CTC 7	Máxima	149,24	155,16	144,49	153,90
	Mínima	103,08	146,07	101,40	140,48
	Média	131,74	149,00	122,34	147,50
	CV(%)	11,71	1,70	11,40	2,18
CTC 20	Máxima	157,77	164,55	151,71	164,78
	Mínima	113,64	150,75	112,97	147,73
	Média	142,35	156,24	134,41	154,75
	CV(%)	8,93	2,46	8,74	2,88

Época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.  
SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

Na condição de sequeiro com plantio em março ocorreram os menores valores de produtividade média (Tabela 4). A precipitação pluvial, média de 15 anos, para os 18 meses subsequentes ao plantio em março (cana de ano e meio), foi de 1427,72 mm com deficiência hídrica (Figura 1) nos meses iniciais. O desenvolvimento vegetativo e o crescimento da cana-de-açúcar ocorrem mais intensamente até o sexto mês e são muito dependentes da disponibilidade hídrica (DE PAULA, 2010). Desta forma, a combinação restrição de água e baixas temperaturas nos meses subsequentes ao plantio em março (abril, maio, junho, julho e agosto) resultaram em crescimento deficitário e conseqüentemente em menor produtividade.

Segundo Inman-Bamber; Smith (2005), a cana-de-açúcar é mais susceptível ao déficit hídrico na fase de alongamento dos colmos, gerando redução na produtividade de colmo e de açúcar. Para as condições climáticas de Bauru, SP, isto pode ocorrer nos plantios de janeiro e março.

Verifica-se na Tabela 4 que os coeficientes de variação para a produção de açúcar no ambiente de sequeiro 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. Com irrigação, 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%, respectivamente, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20.

À semelhança da produtividade de colmos, os CVs foram menores no plantio irrigado, com relação à condição de sequeiro,

confirmando que a irrigação resultou em menor variação da produtividade de açúcar, na região de Bauru-SP.

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

BAURU - SP									
Mg de açúcar.ha <sup>-1</sup> (cana-de-açúcar de 1,5 ano)									
Var		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

Var= Variedade

SEQ= sequeiro; IRR= irrigado

As Tabelas 5a e 5b apresenta a comparação das médias de produtividade de colmo para as quatro variedades avaliadas, nas quatro épocas de plantio e nos dois ambientes (irrigado e sequeiro). A produtividade na cana-de-açúcar irrigada foi sempre superior à de sequeiro, para as quatro variedades estudadas e em todas as épocas de plantio. Por sua vez, a época de plantio não interferiu na produtividade de colmos.

Para a cana-de-açúcar em sequeiro, não houve diferença de produtividade de

colmos entre as variedades analisadas, nem entre as diferentes épocas de plantio. Há evidência do déficit hídrico na região no período de abril a setembro (Figura 1), gerando impacto negativo sobre a produtividade dos plantios realizados em janeiro e em março, para a cana de ano e meio.

De acordo com Doorembos; Kassam (1994), a produtividade da cana-de-açúcar em sequeiro nos trópicos úmidos varia entre 70 e 100 Mg.ha<sup>-1</sup>; por sua vez, atinge valores entre

100 e 150 Mg.ha<sup>-1</sup> , nos trópicos e nos subtropicos secos, com irrigação.

**Tabela 5a.** Análise estatística da produtividade de colmo para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT e a porcentagem de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro nas variedades RB86 7515 e CTC 4.

BAURU - SP						
Variedades / Ambientes						
Mg de Colmos.ha <sup>-1</sup>						
	RB 86 7515			CTC 4		
Meses	SEQ	IRR	%	SEQ	IRR	%
JAN	113,32bB	150,14aA	32	112,25bB	146,80aA	31
MAR	109,31bB	149,38aA	37	108,43bB	147,09aA	36
SET	135,48aB	153,24aA	13	136,33aB	151,30aA	11
NOV	126,99aB	151,19aA	19	127,93aB	149,99aA	17

**Tabela 5b.** Análise estatística da produtividade de colmo para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT e a porcentagem de acréscimo de produtividade no ambiente irrigado, em relação ao ambiente de sequeiro nas Variedades CTC 7 e CTC 20.

BAURU - SP						
Variedades / Ambientes						
Mg de Colmos.ha <sup>-1</sup>						
	CTC 7			CTC 20		
Meses	SEQ	IRR	%	SEQ	IRR	%
JAN	107,41bB	143,58aA	34	119,70bB	152,55aA	27
MAR	103,92bB	143,32aA	38	116,22bB	151,48aA	30
SET	131,74aB	149,00aA	13	142,35aB	156,24aA	10
NOV	122,34aB	147,50aA	21	134,41aB	154,75aA	15

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha para a mesma 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; % incremento de produtividade decorrente da irrigação.

A produtividade de açúcar é apresentada nas Tabelas 6a e 6b e, à semelhança do que ocorreu com a produtividade de colmo, a condição irrigada foi superior à condição de sequeiro, em todas os cenários avaliados envolvendo variedades e épocas de plantio.

A época de plantio não interferiu na produtividade de açúcar. Para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20 a produtividade de açúcar não variou entre as épocas de plantio. A exceção foi a variedade RB 86 7515, pois o plantio em setembro produziu mais açúcar que o plantio em março.

**Tabela 6a.** Análise estatística da produtividade de açúcar para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT, nas variedades RB 86 7515 e CTC 4.

<b>BAURU</b>				
<b>Variedades / Ambientes</b>				
<b>Mg de açúcar.ha<sup>-1</sup></b>				
	<b>RB 86 7515</b>		<b>CTC 4</b>	
<b>Meses</b>	<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>	<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>
JAN	15,73bcB	22,28aA	16,17bB	22,30bA
MAR	15,34cB	22,07aA	15,72bB	22,51bA
SET	19,39aB	24,32aA	20,57aB	24,74aA
NOV	17,75abB	23,02aA	18,72aB	23,45abA

**Tabela 6b.** Análise estatística da produtividade de açúcar para a região de Bauru - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT, nas variedades CTC 7 e CTC 20.

<b>BAURU</b>				
<b>Variedades / Ambientes</b>				
<b>Mg de açúcar.ha<sup>-1</sup></b>				
	<b>CTC 7</b>		<b>CTC 20</b>	
<b>Meses</b>	<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>	<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>
JAN	16,20bB	22,87aA	19,03bB	24,94bA
MAR	15,77bB	23,25aA	18,63bB	24,87abA
SET	20,57aB	24,70aA	23,20aB	27,07aA
NOV	18,85aB	23,68aA	21,51aB	25,91abA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha para a mesma 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

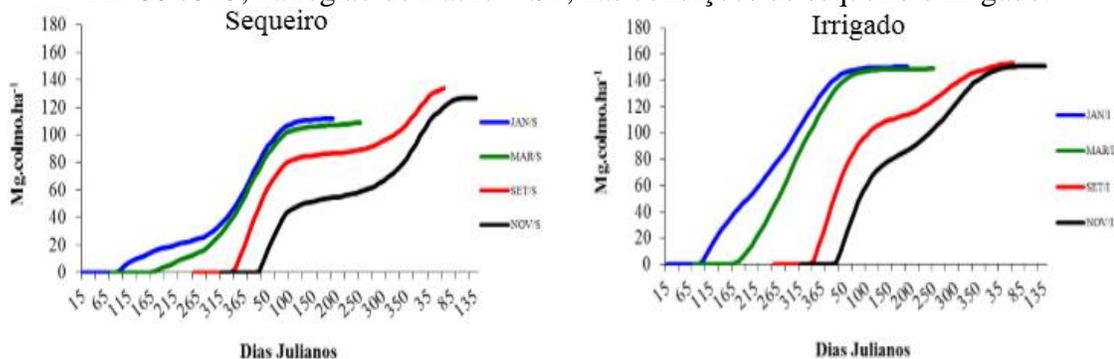
Uma forma interessante de avaliar o desempenho da cana-de-açúcar em diferentes condições e cenários são as curvas de produtividade. Para a produtividade média de colmo da variedade RB 86 7515 (Figura 2), verifica-se que na condição de sequeiro os plantios em janeiro e em março foram semelhantes e resultaram em menor produção por hectare que os plantios em setembro e em novembro. O mesmo ocorreu para a produtividade de açúcar (Figura 3). Para a cana-de-açúcar irrigada, todas as épocas de plantio atingiram o mesmo patamar no gráfico, ou seja, geraram às mesmas produtividades de colmo e de açúcar. As

produtividades foram sempre maiores no ambiente irrigado que no de sequeiro, em todas as épocas de plantio. É evidente nas Figuras 2 e 3 que na condição em sequeiro há desaceleração de crescimento durante o ciclo (pequenas inflexões) decorrente da diminuição das chuvas naquela época e consequente déficit hídrico.

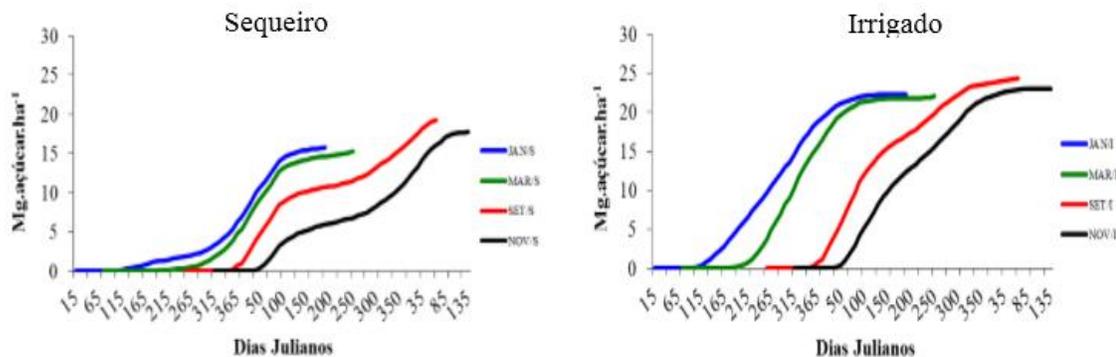
Segundo Barros (2012), o programa DSSAT não possui mecanismo para configurar a morte da planta e nem reduzir a produtividade gerada até então pelo estresse hídrico. Por tal razão, algumas curvas de produtividade na condição de sequeiro estão superestimadas, ocorrendo, em alguns casos,

a anulação de algumas curvas, devido à morte ocorrida pelo déficit hídrico excessivo.

**Figura 2.** Curva de produtividade de colmo ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) da cana-de-açúcar de ano e meio, variedade RB 86 7515, na região de Bauru – SP, nas condições de sequeiro e irrigado.



**Figura 3.** Curva de produtividade de açúcar em  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  da cana-de-açúcar de ano e meio, variedade RB 86 7515, na região de Bauru – SP, em ambiente de sequeiro e irrigado.



### 5.3 Análise de produtividade da região de Jaú – SP

Os dados gerados pelas simulações realizadas no modelo DSSAT permitem comparar a produtividade de colmos (Tabelas 7a e 7b) entre o ambiente irrigado e o de sequeiro, encontrando-se a variação 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. Observou-se que os maiores ganhos de produtividade de colmo ocorreram no plantio em março com irrigação, justamente pelo fato cana-de-

açúcar em condição de sequeiro ser muito afetada em seu crescimento pela deficiência hídrica que ocorre no período de junho a setembro, conforme pode ser observado no balanço hídrico para Jaú – SP (Figura 4).

Segundo Santos et al. (2006), a irrigação favorece não só o aumento da produtividade, como também a longevidade das soqueiras, reduzindo os custos com preparo do solo, tratamentos culturais e plantio.

Por outro lado, os menores incrementos de produtividade de colmo ocorreram no plantio em setembro, em todas as variedades. Se o plantio em março é a pior época de plantio em sequeiro, setembro é

justamente o oposto, o melhor período de plantio tanto para o ambiente irrigado quanto para o de sequeiro, justamente porque evita, pela ocorrência natural de chuva, a ocorrência do período de déficit hídrico (Figura 4) na fase inicial do desenvolvimento da cana-de-açúcar de ano e meio. Tal

constatação é endossada pela totalização da precipitação na região de Jaú, SP, durante os 18 meses da cana-de-açúcar de ano e meio plantada no mês de setembro, que resultou em 2192,59 mm (Tabela 2b; média de 15 anos), enquanto para a cana plantada em março foi de 1616,3mm.

**Tabela 7a.** Produtividade de colmos (Mg de Colmos.ha<sup>-1</sup>) de cana-de-açúcar para a região de Jaú - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT, nos meses de Janeiro e Março.

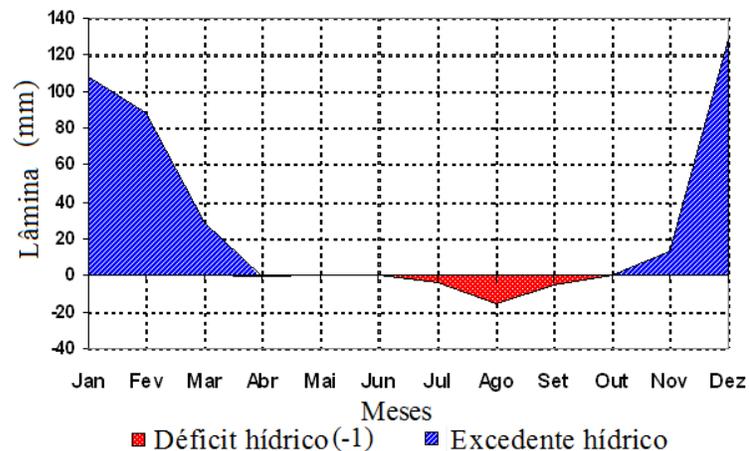
JAÚ - SP					
Mg de Colmos.ha <sup>-1</sup> (cana-de-açúcar de 1,5 ano)					
ÉPOCA DE PLANTIO					
Variedade		JAN		MAR	
		SEQ	IRR	SEQ	IRR
RB86 7515	Máxima	147,94	156,58	146,40	152,99
	Mínima	128,92	140,82	114,96	141,79
	Média	137,78	148,46	132,27	146,27
	CV(%)	4,85	3,39	7,34	2,61
CTC 4	Máxima	150,78	157,21	147,03	154,04
	Mínima	129,41	143,24	116,21	142,31
	Média	139,59	149,91	133,40	147,58
	CV(%)	4,98	3,33	7,19	2,57
CTC 7	Máxima	146,34	154,78	143,99	152,09
	Mínima	124,49	139,22	110,71	138,90
	Média	134,60	146,96	128,22	144,44
	CV(%)	5,78	3,65	8,20	3,04
CTC 20	Máxima	152,23	159,83	150,43	156,25
	Mínima	136,77	145,75	122,75	145,84
	Média	143,60	152,32	138,78	149,96
	CV(%)	3,66	3,16	5,88	2,37

**Tabela 7b.** Produtividade de colmos ( $\text{Mg de Colmos.ha}^{-1}$ ) de cana-de-açúcar para a região de Jaú - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT, nos meses de Setembro e Novembro.

<b>JAÚ - SP</b>					
<b>Mg de Colmos.ha<sup>-1</sup> (cana-de-açúcar de 1,5 ano)</b>					
<b>ÉPOCA DE PLANTIO</b>					
<b>Variedade</b>		<b>SET</b>		<b>NOV</b>	
		<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>	<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>
RB86 7515	Máxima	152,36	156,48	150,04	157,68
	Mínima	139,63	143,27	136,74	141,56
	Média	145,25	149,75	143,44	148,95
	CV(%)	2,38	2,66	3,08	3,39
CTC 4	Máxima	154,50	158,41	152,54	157,83
	Mínima	140,53	144,69	137,77	142,77
	Média	147,11	151,29	145,25	150,60
	CV(%)	2,55	2,64	3,09	3,20
CTC 7	Máxima	152,32	156,04	149,08	155,88
	Mínima	136,20	141,19	133,91	139,58
	Média	143,76	148,99	141,59	147,75
	CV(%)	3,14	2,79	3,46	3,43
CTC 20	Máxima	157,78	162,43	153,67	161,19
	Mínima	145,19	148,53	143,44	147,21
	Média	150,39	154,43	148,39	153,31
	CV(%)	2,28	2,79	2,44	3,25

Época de plantio - JAN= janeiro; MAR= março; SET= setembro; NOV= novembro.  
SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

**Figura 4.** Balanço hídrico para a região de Jaú – SP. (Modificado de EMBRAPA, 2003).  
Balanço Hídrico Mensal



Uribe (2010) constatou que a combinação de irrigação e adubação nitrogenada gerou ganho de produtividade de

cana-de-açúcar na região de Jaú – SP, especialmente em doses superiores a 140 kg N/ha.

A comparação entre as médias de produtividade de colmo para as quatro variedades analisadas, nas quatro épocas de plantio e nos dois ambientes é apresentada nas Tabelas 8a e 8b.

A cana-de-açúcar irrigada de ano e meio gerou maior produtividade de colmo

que a de sequeiro, para todas as variedades avaliadas e em todas as épocas de plantio. A época de plantio não interferiu na produtividade de colmos, nas quatro variedades avaliadas e nos dois cenários hídricos (com e sem irrigação).

**Tabela 8a.** 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 nas variedades RB86 7515 e CTC 4.

JAÚ - SP						
Variedades / Ambientes						
Mg de Colmos.ha <sup>-1</sup>						
	RB86 7515			CTC 4		
Meses	SEQ	IRR	%	SEQ	IRR	%
JAN	137,78bcB	148,46aA	8	139,59bcB	149,91aA	7
MAR	132,27cB	146,27aA	11	133,40cB	147,58aA	11
SET	145,25aB	149,75aA	3	147,11aB	151,29aA	3
NOV	143,44abB	148,95aA	4	145,25abB	150,60aA	4

**Tabela 8b.** 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 nas variedades CTC 7 e CTC 20.

JAÚ - SP						
Variedades / Ambientes						
Mg de Colmos.ha <sup>-1</sup>						
	CTC 7			CTC 20		
Meses	SEQ	IRR	%	SEQ	IRR	%
JAN	134,60bB	146,96aA	9	143,60bcB	152,32aA	6
MAR	128,22cB	144,44aA	13	138,78cB	149,96aA	8
SET	143,76aB	148,99aA	4	150,39aB	154,43aA	3
NOV	141,59aB	147,75aA	4	148,39abB	153,31aA	3

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para a mesma 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; % incremento de produtividade decorrente da irrigação

Como na localidade anterior, os CVs da produtividade de açúcar (Tabela 9) para a região de Jaú - SP foram menores na cana-de-açúcar irrigada que naquela desenvolvida em sequeiro, confirmando que a irrigação gera menor variação neste indicador.

Em 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%, respectivamente, para as variedades RB86 7515, CTC 4, CTC 7 e CTC 20. Sob irrigação, os CVs variaram 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.

Nas Tabelas 10a e 10b, tem-se a comparação das médias de produtividade de açúcar para as quatro variedades avaliadas,

nas quatro épocas de plantio e nos dois ambientes (irrigado e sequeiro). Verifica-se que 4 variedades tiveram produtividade de açúcar maior no plantio em setembro do que no plantio em março.

**Tabela 9.** Produtividade de açúcar para a região de Jaú - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT.

<b>JAÚ - SP</b>									
Mg de açúcar.ha <sup>-1</sup> (cana de 1,5 ano)									
<b>ÉPOCA DE PLANTIO</b>									
<b>Var</b>		<b>Janeiro</b>		<b>Março</b>		<b>Setembro</b>		<b>Novembro</b>	
		<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>	<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>	<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>	<b>SEQ</b>	<b>IRR</b>
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

Var= Variedade.

SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

**Tabela 10a.** Análise estatística da produtividade de açúcar, para a região de Jaú - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT, nas variedades RB86 7515 e CTC 4.

JAÚ				
Variedades / Ambientes				
Mg de açúcar.ha <sup>-1</sup>				
RB86 7515			CTC 4	
Meses	SEQ	IRR	SEQ	IRR
JAN	19,53abB	21,41abA	20,11bcB	21,96abA
MAR	18,86 bB	21,00bA	19,30cB	21,53 bA
SET	21,13 aB	22,69 aA	22,00aB	23,50 aA
NOV	20,45abB	21,87abA	21,23abB	22,64abA

**Tabela 10b.** Análise estatística da produtividade de açúcar, para a região de Jaú - SP, Brasil, após a simulação no modelo DSSAT, nas variedades CTC 7 e CTC 20.

JAÚ				
Variedades / Ambientes				
Mg de açúcar.ha <sup>-1</sup>				
CTC 7			CTC 20	
Meses	SEQ	IRR	SEQ	IRR
JAN	20,80bcB	22,80bcA	22,67 bB	24,19abA
MAR	20,09 cB	22,77 cA	22,22 bB	23,82 bA
SET	22,39 aB	23,83 aA	24,54 aB	25,66 aA
NOV	19,75bcB	23,14abA	23,47abB	24,82abA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, para a mesma 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.

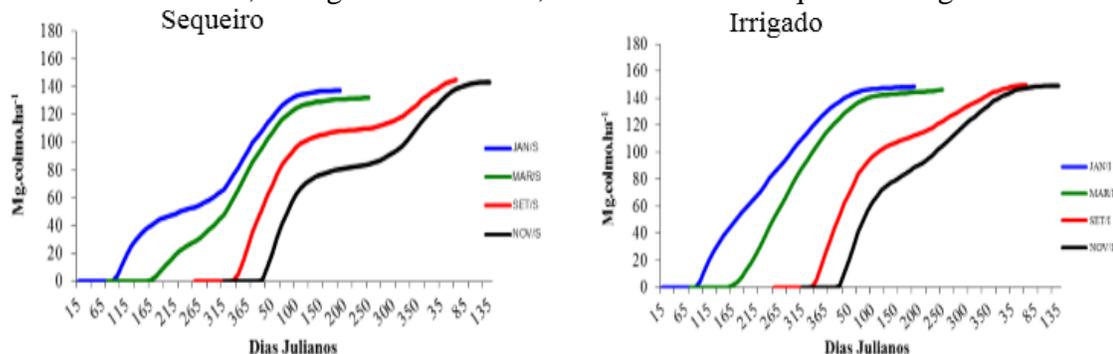
SEQ= sequeiro; IRR= irrigado.

As curvas de produtividade média de colmo por hectare para a variedade RB 86 7515, nas condições de sequeiro e irrigado, são apresentadas na Figura 5. Em sequeiro, nota-se que os plantios em janeiro e em março foram muito semelhantes gerando os menores desenvolvimento e produtividade de colmo. Os plantios em setembro e em novembro

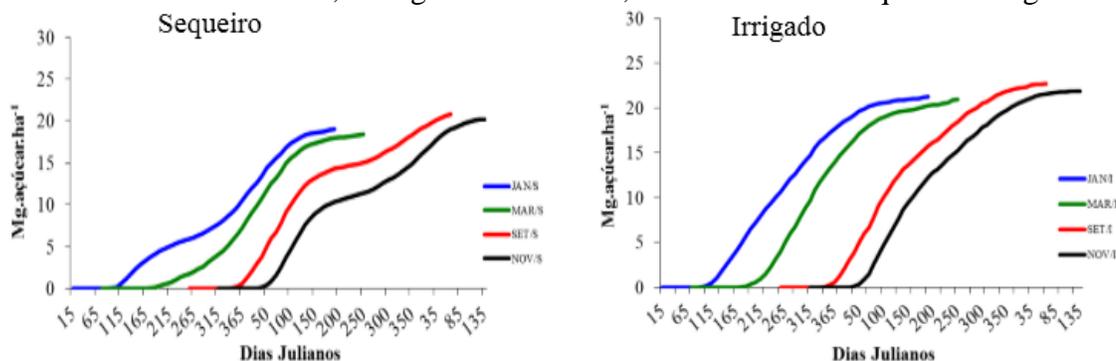
resultaram em maiores valores e não diferiram entre si. O mesmo comportamento e agrupamento das épocas de plantio se repetiu na produtividade de açúcar na condição em sequeiro (Figura 6).

Na cana-de-açúcar irrigada, as quatro épocas de plantio geraram as mesmas produtividades de colmo e de açúcar.

**Figura 5.** Curva de produtividade de colmo em  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  da cana-de-açúcar de ano e meio, variedade RB 86 7515, na região de Jaú – SP, em ambiente de sequeiro e irrigado.



**Figura 6.** Curva de produtividade de açúcar em  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  da cana-de-açúcar de ano e meio, variedade RB 86 7515, na região de Jaú – SP, em ambiente de sequeiro e irrigado.



#### 5.4 Validação e indicação de datas de plantio

A validação do modelo foi feita com dados da região de Jaú – SP, comparando os dados estimados pelo DSSAT/CANEGRO e os dados coletado em campo para a variedade RB86-7515 (Tabela 11).

**Tabela 11.** Dados de produtividade de colmo e de açúcar coletados em campo e estimados pelo modelo DSSAT/CANEGRO, para a variedade RB86-7515, na região de Jaú – SP.

Produtividade	Região (Jaú – SP)			
	Mg de colmo. $\text{ha}^{-1}$		Mg de açúcar. $\text{ha}^{-1}$	
	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado
*Real (2007)	115,8	140,9	16,4	18,7
Simulada (DSSAT)	120,0	129,0	19,5	21,4

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

Para a produtividade de colmo, o modelo DSSAT/CANEGRO superestimou em 4% o valor obtido em sequeiro e subestimou em 9% aquele obtido em condições reais sob irrigação, conforme

obtido por Gava et al. (2011). Para a produtividade de açúcar, a simulação superestimou o valor real em sequeiro em 19% e também o valor real irrigado em 14%.

Os cenários simulados para a cidade de Jaú - SP pelo modelo DSSAT/CANEGRO, especialmente quanto à produtividade de colmos, obtiveram resultados satisfatórios. Os modelos de simulação são ferramentas importantes para a

previsão de safra, pois reduzem o tempo de resposta e auxiliam na tomada de decisão.

As indicações das melhores épocas de plantio, em regime de sequeiro e irrigado, fornecidas pelo modelo DSSAT/CANEGRO são apresentadas na Tabela 12.

**Tabela 12.** Épocas recomendadas ao plantio de cana-de-açúcar de ano e meio nas cidades de Jaú e Bauru, SP, em sequeiro e irrigado.

Mês de plantio	Bauru - SP		Jaú - SP	
	Sequeiro	Irigado	Sequeiro	Irigado
Janeiro		X		X
Março		X		X
Setembro	X	X	X	X
Novembro	X	X		X

O modelo recomenda para a cidade de Bauru, SP, que o plantio em sequeiro seja realizado nos meses de setembro a novembro, evitando que o déficit hídrico que ocorre de abril a outubro (Figura 1) prejudique o desenvolvimento da cana-de-açúcar de ano e meio em sua etapa inicial de desenvolvimento; para a cana irrigada, o modelo não restringiu a data de plantio, indicando todas as avaliadas.

Na cidade de Jaú, SP, também com base no balanço hídrico (Figura 4), o modelo de simulação recomenda o plantio em sequeiro apenas em setembro (Figura 4); sob irrigação, não há restrição de data de semeadura.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nas hipóteses formuladas, nos resultados obtidos com o modelo de

simulação e na comparação com dados gerados por experimento de campo, pode-se concluir para a região de Bauru e Jaú, SP:

- em condição de sequeiro, a época de plantio interferiu na produtividade de colmos e de açúcar sendo recomendado o plantio setembro e novembro para Bauru, SP e apenas em setembro para Jaú, SP;
- com o uso da irrigação, a produtividade de colmo não variou com a época de semeadura e nem com as variedades avaliadas;
- as produtividades irrigadas obtiveram valores superiores às em regime de sequeiro, em todas as situações;
- Em comparação aos dados experimentais coletados na região de Jaú, SP, o modelo apresentou boas estimativas de produtividade de colmo;
- o mês de março é o menos recomendado para o plantio em sequeiro, nas duas regiões avaliadas.

## 7 REFERÊNCIAS

- 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.
- BARROS, A. C; COELHO, R. D; MARIN, F. R; POLZER, D. L; NETTO, A. O. A. **Utilização do modelo CANEGRO para estimativa de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada para as regiões de Gurupi – TO e Teresina - PI**. 2012. 189 - 207 p. v. 17, n. 2, Botucatu – SP, Revista Irriga, 2012.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. acesso em: 23 de agosto de 2017.
- 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. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- SANTOS, M.A.L; FRIZZONE, J.A. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Colhida no mês de janeiro: Um modelo de análise de decisão para o Litoral Sul do Estado de Alagoas**. 2006. 339 - 355 p. v. 11, n. 3, Botucatu – SP, Revista Irriga, 2006.
- 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) – Univesidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2010.