



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Risco de produção da cultura da cana-de-açúcar baseado em cenários de mudanças climáticas



Murilo dos S. Vianna¹; Fábio Ricardo Marin²

¹ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, +55193444-8553, murilodsv@usp.br

² Professor adjunto, Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, fabio.marin@usp.br

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar o risco climático da produção da cultura da cana-de-açúcar em regiões tradicionais de cultivo do Brasil (Sudeste e Centro-Oeste), e quantificar sua variabilidade espaço temporal em termos de produtividade (TCH) e qualidade da matéria prima (POL), baseados em cenários de mudanças climáticas. Para isso, utilizou-se o modelo DSSAT/CANEGRO para simular o crescimento e desenvolvimento da cultura em nove regiões de produção tradicionais da cana-de-açúcar no país, cada uma considerando dois tipos de solo e cinco datas de plantio. As mudanças do clima foram computadas por meio de dois cenários de desenvolvimento de mudanças climáticas, sendo um cenário pessimista, A2, e um otimista, B2, gerados pelo modelo climático regional PRECIS, conforme relatório do IPCC. As anomalias foram extraídas utilizando o método-delta (“*change factors*”), com ano 2050 de referência, e aplicadas às séries históricas das estações para simulação dos cenários de mudanças climáticas. No cenário atual, as simulações mostraram que há ganhos em TCH e POL quando em condições de solo bem estruturado. Neste cenário, as regiões de Votuporanga, SP, e Vale do Gurguéia, PI, apresentaram maior risco climático. Em condições de mudança no clima, a cultura sofreu perdas em TCH e POL em comparação ao cenário atual. O impacto foi mais acentuado no cenário otimista (B2), que apresentou perdas médias de TCH de 13% em cana soca, e 9,4%, em cana planta. Os valores de POL também foram menores para este cenário, chegando a perdas de 15,7% em cana soca e 8,4% em cana planta. Esses resultados são um reflexo da alteração dos índices pluviométricos no cenário B2, gerados pelo modelo PRECIS. As regiões mais afetadas pelo clima foram Rio Verde, GO, e Uberlândia, MG, com quebra de produção de até 50%.

PALAVRAS-CHAVE: Cana-de-açúcar, Risco climático, Mudanças climáticas.

Sugarcane yield risks based on climate change scenarios

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the climatic risk on traditional sugarcane regions of Brazil (Southern and Mid-West) and quantifying their space-time variability in terms of yield (TCH) and the quality of raw material (POL), based on climate change scenarios. Therefore, the DSSAT/CANEGRO model was used to simulate the sugarcane growth and development in nine traditional production sites of the country. In addition, we used two climate change scenarios of development, a pessimistic scenario, A2, and an optimistic, B2, generated by regional climate model PRECIS, indicated by the IPCC. The anomalies were extracted using the delta-method (“change factors”), using 2050 as reference year, and applied to the meteorological series for simulation of climate change scenarios. In the actual scenario, simulations showed that there are gains in TCH and POL when in a well-structured soil conditions. In this scenario, the regions of Votuporanga, SP, and Vale do Gurguéia, PI, had higher climatic risk, when compared to other regions. In the climate change conditions, the culture suffered decreases in TCH and POL. The greatest impacts were pronounced in the optimistic scenario (B2), which showed losses of 13% in ratoon cane, and 9.4% in TCH. The POL values were also lower for this scenario, reaching losses of 15.7% in ratoon and 8.4% in plant cane. These results are due to change in rainfall at B2 scenario, generated by the PRECIS model. The most affected regions by climate were Rio Verde, GO, and Uberlândia, MG, with production loss of up to 50%.

KEY WORDS: Sugarcane, Climatic risk, Climate change.

INTRODUÇÃO

A preocupação com a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas, após os últimos relatórios sobre mudanças climáticas do IPCC (IPCC, 2014), tornou-se tema de diversas pesquisas no mundo. No caso do Brasil, o impacto poderá ser sentido pelos produtores até o final da próxima década, ameaçando a produção de alimentos e biocombustíveis (PINTO et al., 2008).

Por se tratar de uma das mais importantes commodities nacionais, movimentando cerca de 80 bilhões de dólares por ano e com uma produção de 50% do mercado mundial, a cana-de-açúcar possui um papel importante na economia brasileira (NEVES et al., 2009). O reconhecimento do etanol como combustível renovável, devido à reabsorção dos gases emitidos durante o crescimento da planta, crescimento da frota de veículos *flexfuel*, preço atrativo do açúcar e da geração de energia elétrica, tem contribuído para a expansão da cultura nos últimos anos (GOLDEMBERG et al., 2008; CONAB, 2015).

Os principais fatores ambientais que influenciam a produtividade de cana-de-açúcar são a temperatura do ar e a disponibilidade hídrica dos solos. A temperatura afeta vários processos metabólicos da planta, além de interferir na demanda evapotranspirativa. Já a disponibilidade de água no solo abaixo do ideal para a cultura pode causar redução nos perfilhos, na área foliar, estimular a senescência, o que reduzirá o crescimento dos colmos e, conseqüentemente, a sua produtividade (INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER e SMITH, 2005), o que torna a cultura muito dependente das condições climáticas.

Para dar suporte à tomada de decisão ao setor canavieiro, sob ponto de vista de mudanças climáticas, o uso de modelos de crescimento atrelados a projeções de clima forma uma poderosa ferramenta para simulação de cenários futuros agrícolas, auxiliando na otimização de produção e recurso financeiro e contribuindo também para o gerenciamento de expansão de áreas com potencial produtivo e mitigação de culturas (HOOGENBOOM, 2000). No Brasil, dois modelos dinâmicos mundialmente difundidos da cana-de-açúcar já foram calibrados para as condições brasileiras e utilizados para diversos estudos (NASSIF et al., 2009; MARIN et al., 2013; COSTA, 2014; VIANNA e SENTELHAS, 2015).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi utilizar um modelo baseado em processos de simulação do crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar para avaliar a variabilidade espaço temporal da produção agrícola da cana-de-açúcar no Brasil, com base no cenário atual e em dois cenários de desenvolvimento futuros no ano de 2050.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se o modelo DSSAT/CANEGRO, contido no sistema DSSAT v4.5 (DecisionSupport System AgrotechnologyTransfer) para simular o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar no cenário atual e futuro, baseado em dois cenários de mudanças climáticas (A2 e B2) do modelo regional PRECIS (ALVES, 2009).

Os dados climáticos de entrada para simulação no modelo DSSAT/CANEGRO foram, informações diárias de temperatura máxima, mínima, precipitação e radiação solar global. Para as simulações foram utilizados dados meteorológicos obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), totalizando 9 estações meteorológicas, localizadas em regiões de produção tradicionais, assim como em áreas de expansão da cultura (Figura 1). A seleção das estações foi baseada na qualidade da série histórica e nas áreas de plantio de cana-de-açúcar do Brasil, predominantemente no Centro-Oeste

e Sudeste do país, além de alguns pontos próximos a região Nordeste que são mais sujeitos ao risco climático (PINTO et al., 2008).

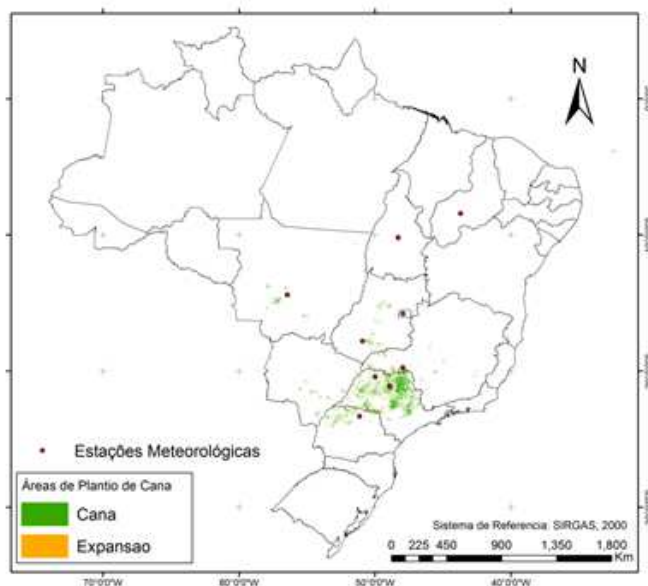


Figura 8. Localização das 9 estações utilizadas nas simulações

Tabela 4. Estações meteorológicas com suas respectivas latitude, longitude e altitude

Região	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Sigla*
Brasília	DF	-15,78	-47,93	1159	BRDF
Catanduva	SP	-21,11	-48,93	570	CATA
Diamantino	MT	-14,40	-56,45	286	DIMT
Rio Verde	GO	-17,80	-50,91	774	RVGO
Londrina	PR	-23,31	-51,13	566	LOPR
Palmas	TO	-10,19	-48,30	280	PLMS
Votuporanga	SP	-20,41	-49,98	502	VOTU
Uberaba	MG	-19,73	-47,95	737	UBMG
Vale do Gurgueia	PI	-8,41	-43,71	265	VGPI

*Abreviação da série histórica utilizada na simulação.

Pela dificuldade em se obter dados medidos de radiação solar global, estimou-se a radiação diária por meio do método proposto por Bristow e Campbell (1984). O restante das falhas foi corrigida por meio da ferramenta “WeatherMan”, contida no pacote DSSAT, onde as séries históricas de dados meteorológicos foram padronizadas em 49 anos, a partir de 1 de janeiro de 1961 (Tabela 1).

Com intuito de incorporar os impactos do manejo do solo na simulação dos diferentes sistemas de plantios e corte, utilizaram-se quatro perfis de solo (Tabela 2), sendo dois perfis de latossolo vermelho-amarelo e podzólico vermelho-amarelo, um raso, para as simulações de cana soca, e um profundo, simulando os plantios de cana de ano e ano e meio, totalizando-se assim dois solos para cada corte. Ambos os solos foram escolhidos devido à predominância na região estudada e adaptados por Marin et al. (2011) através de equações de pedotransferência e curvas de retenção para os solos brasileiros (TOMASELLA et al., 2000; VAN GENUCHTEN, 1980).

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Tabela 5. Dados dos perfis de solo cadastrados no sistema DSSAT, sendo P.M.P o ponto de murcha permanente, C.C. a capacidade campo, e SAT. o ponto de saturação em cada camada

Prof.	P.M.P.	C.C.	SAT.	Fator Raíz	Cond. Hidráulica	Densid.	Carb. Organ.	Argila	Silte	pH água	CTC
	-----cm ³ .cm ⁻³ -----				cm.h ⁻¹	g.cm ⁻³		-----%----			cmol _c kg ⁻¹
<u>Latossolo Vermelho-Amarelo Planta</u>											
20	0,220	0,360	0,520	1,00	2,59	1,37	1,70	50	8	4,6	5,0
90	0,235	0,355	0,495	0,91	2,59	1,36	0,81	54	9	4,6	3,2
<u>Podzólico Vermelho-Amarelo Planta</u>											
25	0,098	0,202	0,460	1,00	2,59	1,40	1,73	13	5	6,3	94,6
80	0,088	0,179	0,421	0,95	6,11	1,53	0,70	11	4	4,9	47,0
90	0,148	0,247	0,442	0,63	0,43	1,56	0,53	26	5	4,7	81,3
<u>Latossolo Vermelho-Amarelo Soca</u>											
20	0,230	0,360	0,520	1,00	2,59	1,37	1,70	50	8	4,6	5,0
60	0,285	0,355	0,495	0,51	2,59	1,36	0,81	54	9	4,6	3,2
<u>Podzólico Vermelho-Amarelo Soca</u>											
25	0,118	0,202	0,460	1,00	2,59	1,40	1,73	13	5	6,3	94,6
60	0,148	0,179	0,421	0,51	0,43	1,53	0,70	11	4	4,9	47,0

Cinco sistemas de plantio foram avaliados, apresentando cinco datas diferentes de plantio e ciclos de 12 e 18 meses (Tabela 3). Dessa forma foi possível avaliar a resposta da planta em diferentes épocas do ano e diferentes fases de crescimento. A cultivar de cana-de-açúcar foi calibrada de modo a aproximar os parâmetros da realidade comercial brasileira (MARIN et al., 2011), já que os valores predefinidos contidos no sistema DSSAT estão adequados às condições sul-africanas.

Tabela 6. Sistemas de plantio (Cana de Ano e Ano e Meio) e ciclos de cana soca

Plantio	Cana-planta		Plantio	Cana-soca	
	Data	Ciclo (meses)		Data	Ciclo (meses)
Ano e Meio	15 fev.	18	Precoce	15 mai.	12
Ano	15 out.	12	Média	01 ago.	12
-	-	-	Tardia	15 out.	12

Os cenários de projeção climática foram obtidos através do modelo regional PRECIS, adotando o ano de 2050 como referência para os cenários A2 e B2. Para computar as variações de temperatura e precipitação de cada região utilizou-se o método “change factors” ou método-delta (KNOX et al., 2010) em que se acrescentou a diferença de temperatura e precipitação com base cenário atual, em relação ao ano de 2050, simulado pelo modelo PRECIS.

Além disso, considerou-se dois níveis de concentração de CO₂, um para cada cenário, sendo 850 ppm para o cenário pessimista (A2) e 550 ppm para o cenário otimista (B2) (NOBRE et al., 2007).

Desta forma, as simulações foram replicadas para os três cenários, atual (baseline), pessimista (A2) e otimista (B2), totalizando 270 simulações (9 locais, 5 épocas de plantio, 2 tipos de solo, 3 cenários).

As análises foram realizadas com base nos valores de massa fresca do colmo (TCH, [t.ha⁻¹]) e percentual de sacarose em massa produzida (POL, [%]). Os valores foram extraídos por decêndio e por corte para as análises de mudanças de clima e analisados por meio de frequência acumulada ao nível de 80% dos cortes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados das estações mostraram se adequados para o uso nas simulações, representando climaticamente as regiões estudadas. A Figura 2 mostra a sazonalidade anual das temperaturas nos pontos próximos às regiões Sudeste e Sul, com inverno bem definido entre os meses de maio a julho, e verão entre os meses dezembro a fevereiro. Para as estações de Diamantino, MT (DIMIT), Palmas, TO (PLMS) e Vale do Gurgueia, PI (VGPI) a sazonalidade anual das temperaturas é menor, com estações do ano menos definidas, essa é uma característica observada em regiões mais próximas ao equador.

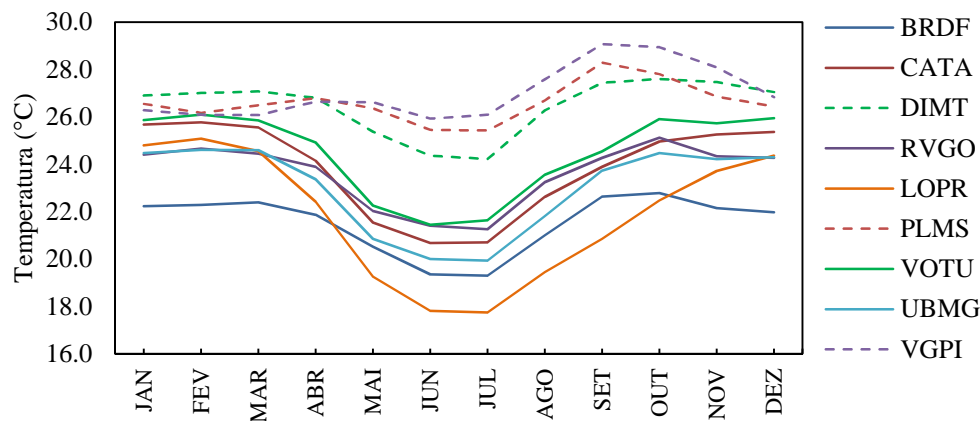


Figura 9. Temperatura média anual para cada região do estudo, para o cenário atual (1961-2010).

A Tabela 5 mostra os valores de precipitação média mensal e anual de cada região, apresentando mesma sazonalidade entre as estações do ano, com destaque para a estação Vale do Gurgueia, PI (VGPI), com precipitação cerca de 40% inferior em relação as demais séries analisadas.

Tabela 7. Precipitação média (mm) mensal, para o cenário atual (1961-2010).

Região	Jan	Fev	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
BRDF	225,1	204,4	200,7	127,7	32,6	6,5	6,9	17,1	48,1	159,7	234,4	245,4	1508,6
CATA	247,8	209,6	153,8	67,1	54,9	24,8	22,4	23,8	58,5	110,9	129,4	221,7	1324,8
DIMIT	298,5	284,7	256,9	134,9	60,8	10,9	8,7	20,1	74,6	170,4	226,9	275,9	1823,4
RVGO	259,0	201,9	233,5	95,9	39,1	18,3	9,8	17,1	56,9	141,7	267,9	273,3	1614,5
LOPR	243,7	188,6	134,9	100,1	104,3	92,5	66,6	58,4	103,9	156,8	154,9	225,3	1630,0
PLMS	258,1	239,8	210,9	126,0	40,4	3,5	1,5	1,8	35,6	142,0	205,1	224,2	1488,9
VOTU	288,2	178,9	152,3	87,8	53,8	19,8	18,0	15,8	64,7	115,4	135,5	220,8	1351,0
UBMG	278,1	247,4	206,2	90,2	45,1	16,7	12,5	14,6	55,7	154,4	185,1	291,3	1597,4
VGPI	153,7	166,5	154,0	104,3	47,5	2,9	0,0	0,9	10,7	62,6	104,5	135,1	942,6

Os resultados do modelo PRECIS podem representar razoavelmente bem a variabilidade espacial e temporal da temperatura, apresentando uma maior variabilidade térmica ao longo das estações do ano, seguindo o mesmo padrão de sazonalidade observada no cenário atual (Figura 3a). Com relação ao regime pluviométrico, o modelo PRECIS é capaz de reproduzir os ciclos anuais bem definidos, ou seja, pouca precipitação durante os meses secos e altos valores mensais durante os meses mais chuvosos. Com

diminuição considerável nos valores mensais de setembro a dezembro para o cenário B2, considerado menos pessimista (Figura 3b).

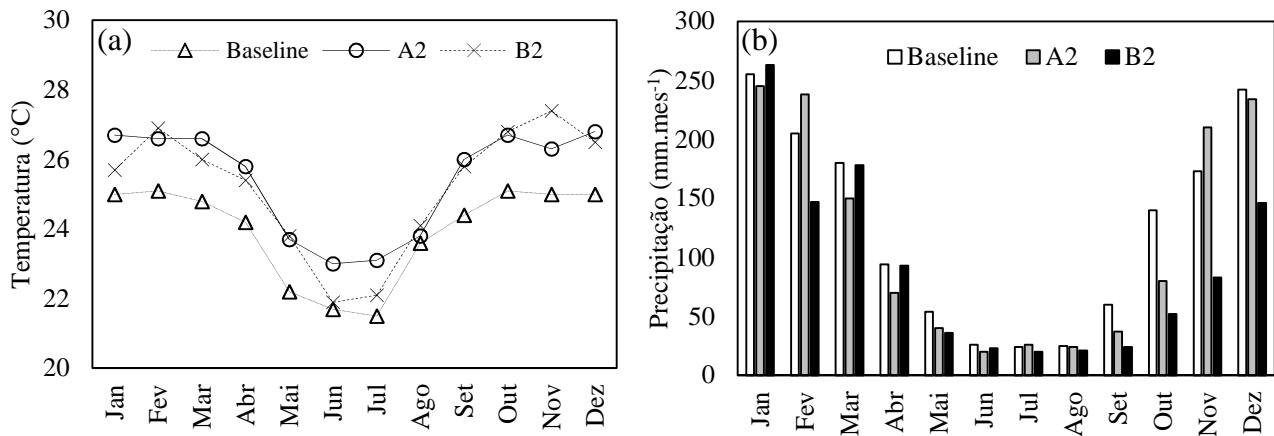


Figura 10. Temperatura (a) e precipitação (b) média mensal de todos os locais para o cenário atual (Baseline), pessimista (A2) e otimista (B2).

Ao comparar os valores médios, nos dois tipos de solos simulados (podzólico vermelho-amarelo em relação a latossolo vermelho-amarelo) percebe-se uma maior produtividade para o latossolo nas simulações de cana soca, apresentando em média 8,8 % de diferença entre suas produtividades de massa fresca de colmo e 6 % de concentração de sacarose (Tabela 5).

As maiores diferenças na produtividade (TCH) entre os solos foram observadas nas simulações de cana soca, principalmente para a região do Vale do Gurgueia, PI (VGPI). Enquanto que em concentração de sacarose (POL), as maiores diferenças foram em Palmas, TO (PLMS) e Diamantino, MT (DIMT). Nota-se que essa diferença é acentuada em regiões onde há combinação entre baixos valores de precipitação na fase de desenvolvimento vegetativo da cultura e altos valores de temperatura, elevando a taxa de evapotranspiração (Tabela 5).

Entretanto para os perfis mais profundos (cana de ano e ano e meio), houve pouca diferença na produtividade (TCH) entre os solos, atingindo média de 1,1 % de produtividade maior para o podzólico vermelho-amarelo (Tabela 5). Já para concentração de sacarose, os perfis de podzólico vermelho-amarelo apresentaram, em média, 2,8 % menos concentração de sacarose do que o perfil de latossolo profundo.

Tabela 8. Diferença relativa média entre a produtividade e acúmulo de sacarose simulados com o perfil de podzólico vermelho-amarelo em relação a ao perfil de latossolo vermelho-amarelo

Região	Diferença TCH (%)					Diferença POL (%)				
	----- Cana-Soca -----			Cana-Planta		----- Cana-Soca -----			Cana-Planta	
	Precoce*	Média*	Tardia*	Ano**	Ano e Meio**	Precoce*	Média*	Tardia*	Ano**	Ano e Meio**
BRDF	-11,8	-10,2	-7,8	-0,3	0,2	-5,9	-4,9	-4,7	-1,3	-1,0
CATA	-9,3	-11,9	-9,0	0,6	1,5	-5,6	-5,6	-4,3	-2,5	-3,9
DIMT	-2,7	-4,7	-4,0	0,9	1,5	-9,8	-9,3	-8,0	-3,8	-4,3
LOPR	-10,2	-10,5	-9,8	0,2	0,4	-4,2	-3,4	-3,0	-1,0	-2,3
PLMS	-4,7	-6,9	-5,0	0,7	1,3	-8,0	-10,1	-9,1	-5,0	-4,4
RVGO	-7,9	-9,9	-8,7	0,6	1,2	-3,6	-3,6	-3,7	-2,1	-1,6
UBMG	-7,6	-9,5	-7,2	0,6	0,9	-4,3	-4,4	-3,7	-1,6	-1,5
VGPI	-11,9	-13,1	-14,9	2,5	2,8	-6,0	-7,2	-11,9	-4,9	-4,1
VOTU	-8,9	-12,0	-8,6	1,2	3,4	-6,2	-6,0	-5,2	-2,7	-3,2
Média	-8,3	-9,9	-8,4	0,8	1,4	-6,0	-6,1	-5,9	-2,8	-2,9
Desvio	3,1	2,6	3,1	0,8	1,0	1,9	2,4	3,0	1,5	1,3

* Perfil de solo raso (60 cm); ** perfil de solo profundo (90 cm)

Os valores simulados de produtividade (TCH) se destacaram no sistema de plantio de ano, com produtividade média de pelo menos 135,9 t.ha⁻¹ em 80% dos ciclos (Tabela 6), superando até o plantio de ano e meio em sete das nove regiões simuladas. Esse resultado evidencia maior estabilidade na produção, com reflexo de um bom manejo e conservação do solo, mantendo o solo menos compactado, permitindo melhor desenvolvimento radicular.

Nos sistemas de corte de cana soca, o sistema precoce se destacou com produtividade média de 110,4 t.ha⁻¹ em 80% dos anos, pouco acima do ciclo médio com 109,4 t.ha⁻¹ (Tabela 6). Porém, a amplitude nos valores de produtividade entre os locais no ciclo médio, mostram maior instabilidade na produção, com desvio de 15,4 t.ha⁻¹ enquanto que no precoce o desvio é de apenas 7,2 t.ha⁻¹ entre as regiões (Tabela 6). Os valores do ciclo tardio mostraram se cerca de 30% inferiores que os outros cortes de cana soca.

Os valores de acúmulo de sacarose (POL) mantiveram média de acúmulo de 12 e 13% em 80% dos anos simulados. Os valores para o plantio de cana de ano e ano e meio seguiram o mesmo padrão que o observado na produtividade (TCH), apresentando o plantio de ano com valores superiores ao de ano e meio.

No caso dos valores de cana soca, a concentração de sacarose também mostrou se superior no ciclo precoce (Tabela 6), diminuindo para o tardio. Porém nesse caso os valores concentração médio do ciclo precoce superaram os de plantio em cana de ano, com média de 12,9 % de acúmulo em 80% dos anos simulados (Tabela 6).

Tabela 9. Produtividade (TCH) e acúmulo de sacarose (POL) simulados em dois perfis de solo (podzólico vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo) com ocorrência em 80% dos ciclos

Região	80% TCH (%)					80% POL (%)				
	----- Cana-Soca -----			Cana-Planta		----- Cana-Soca -----			Cana-Planta	
	Precoce	Média	Tardia	Ano	Ano e Meio	Precoce	Média	Tardia	Ano	Ano e Meio
BRDF	105,8	81,2	73,0	138,6	114,0	13,2	13,2	12,3	12,3	15,0
CATA	122,2	97,6	81,2	146,8	122,2	13,2	13,2	12,3	12,3	13,2
DIMT	114,0	105,8	73,0	146,8	130,4	13,2	13,2	12,3	13,2	12,3
LOPR	114,0	122,2	97,6	146,8	130,4	13,2	11,4	12,3	13,2	11,4
PLMS	114,0	130,4	97,6	146,8	146,8	13,2	12,3	12,3	13,2	11,4
RVGO	105,8	122,2	81,2	130,4	138,6	13,2	13,2	12,3	12,3	12,3
UBMG	105,8	114,0	81,2	122,2	122,2	12,3	11,4	11,4	12,3	11,4
VGPI	114,0	97,6	64,8	130,4	105,8	12,3	10,5	11,4	12,3	9,6
VOTU	97,6	114,0	73,0	114,0	122,2	12,3	11,4	11,4	12,3	11,4
Média	110,4	109,4	80,3	135,9	125,8	12,9	12,2	12,0	12,6	12
Desv. Pad.	7,2	15,4	11,2	12,3	12,4	0,4	1,1	0,5	0,4	1,5

Ao simular o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar para o cenário pessimista (A2), os valores de produtividade (TCH) apresentaram, em média, queda de 15,5% e 9,5% em cana de ano e ano e meio respectivamente. O ciclo de corte tardio apresentou ganhos em 8,6% com relação ao cenário atual, porém apresentou desvio superior aos outros sistemas de plantio e corte, atingindo 25,1% (Tabela 7). As maiores perdas foram observadas nas estações de Uberaba, MG (UBMG) e Rio Verde, GO (RVGO), apontando maior risco climático no cenário mais pessimista nesses dois locais, especialmente para cana de corte médio. A estação Diamantino, MT (DIMT) foi a mais favorecida, com aumento médio de 13,1% em 80% dos ciclos simulados (Tabela 7).

O acúmulo de sacarose (POL) sofreu perdas em todos os cortes e plantios simulados, atingindo média de 10,9% de perda em 80% dos ciclos simulados. Neste caso o ciclo de corte tardio apresentou maiores índices de perda, com média de 16,0% entre todas as estações, em contrapartida o plantio de ano sofreu menor impacto, com diminuição média de 1,9% entre as estações (Tabela 7).

Tabela 10. Diferença relativa entre a produtividade (TCH) e acúmulo de sacarose (POL) simulados em dois perfis de solo (podzólico vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo), em relação ao cenário atual (*baseline*), com ocorrência em 80% dos ciclos

Região	Delta - 80% TCH (%)					Delta - 80% POL (%)				
	----- Cana-Soca -----			Cana-Planta		----- Cana-Soca -----			Cana-Planta	
	Precoce	Média	Tardia	Ano	Ano e Meio	Precoce	Média	Tardia	Ano	Ano e Meio
BRDF	-37,6	20,7	9,6	-53,8	10,5	-21,4	1,3	-3,5	-18,7	-7,5
CATA	-14,9	16,8	15,8	-22,3	-0,2	-10	-2,5	-3,5	-5,5	-3,4
DIMT	14	19,1	37	3,5	-8	0,4	-9,1	-5,5	-2,5	-7,5
LOPR	-22,8	11,3	14,8	-10,1	4,3	-15,7	-6,8	-13,6	2,3	-11,2
PLMS	-21,1	5,8	16,8	-14,2	-1,9	-14,8	-5,5	-9,6	3,2	-3,5
RVGO	21	-47,6	-31	2,8	-42,3	-1,5	-44,1	-33,9	2,6	-38
UBMG	2,1	-36,8	-31	-11,6	-32,9	-7,5	-38,6	-40,8	-1,4	-27,6
VGPI	-15,8	23	38,9	-24,8	9,6	-8,5	-9,5	-16,7	-0,4	-6,3
VOTU	-5,7	-15,8	6,8	-8,8	-24,7	-3,5	-12,3	-16,7	3,7	-16,7
Média	-9	-0,4	8,6	-15,5	-9,5	-9,2	-14,1	-16	-1,9	-13,5
Desv. Pad.	18,7	26,5	25,1	17,3	19,2	7,2	16	13,3	7	11,9

Para este parâmetro todas as estações apresentaram perdas, com destaque para as estações Uberaba, MG (UBMG) e Rio Verde, GO (RVGO) que obtiveram as maiores perdas no acúmulo de sacarose em 80% dos ciclos, principalmente nos sistemas de cana soca com diminuição de até 44,1%. Essa queda no valor de acúmulo representa menor rendimento da cultura para a produção de açúcar no cenário pessimista.

Ao simular a produção da cana-de-açúcar no cenário otimista (B2), produtividade de cana (TCH) apresentou quedas em todas as simulações, com destaque para o plantio de ano que atingiu média de 23,0% menor em 80% dos ciclos simulados (Tabela 8). Enquanto que os cortes médio e tardio mantiveram os menores índices de perda e até aumento em produtividade nas regiões de Diamantino, MT (DIMT), Catanduva, SP (CATA) e Brasília, DF das estações (BRDF).

Neste cenário as regiões de Uberaba, MG (UBMG) e Rio Verde, GO (RVGO) também sofreram os impactos mais severos, notadamente nos cortes médio e tardio e plantio de ano e meio, com perdas de até 52,5% de produtividade. A estação Brasília, DF (BRDF) também sofreu queda acentuada na produtividade, com perdas de 50,9% em ciclo precoce e 61,0% no plantio de cana.

Os valores de acúmulo de sacarose (POL) também sofreram perdas em todos os ciclos e plantios simulados, com média de 15,7% de perda em ciclos de cana soca e 8,4% em cana planta. Os ciclos tardio e médio apresentaram as maiores perdas, além dos maiores desvios em comparação com as outras simulações (Tabela 8), principalmente nas regiões de Uberaba, MG (UBMG) e Rio Verde, GO (RVGO), com perdas acima de 40%.

Ao todo houve perda média de 15,1% na produtividade (TCH) e de 12,8% no acúmulo de sacarose (POL), que evidencia um risco climático ainda maior que no cenário otimista de mudanças do clima (A2). Esses resultados são reflexo do aumento do déficit hídrico neste cenário (B2), notadamente nos últimos meses do ano, em que a precipitação média mensal em todas as regiões entre os meses de setembro a dezembro foi cerca de 50% menor (Figura 3b).

Tabela 11. Diferença relativa entre a produtividade (TCH) e acúmulo de sacarose (POL) simulados em dois perfis de solo (podzólico vermelho-amarelo e latossolo vermelho-amarelo), em relação ao cenário atual (*baseline*), com ocorrência em 80% dos ciclos

Região	Delta - 80% TCH (%)					Delta - 80% POL (%)				
	Cana Soca			Cana Planta		Cana Soca			Cana Planta	
	Precoce	Média	Tardia	Ano	Ano e Meio	Precoce	Média	Tardia	Ano	Ano e Meio
BRDF	-50,9	18,2	-4,1	-61	3,5	-25,2	-0,6	-10,6	-25,8	-7,5
CATA	-21,4	10,7	-1,5	-27,8	-8,3	-12,9	-4,4	-6,5	-7,5	-2,5
DIMT	8,8	9,6	6,8	0,8	-20,2	-2,5	-11,9	-5,5	-0,6	-6,5
LOPR	-28,1	6,4	0,4	-16,9	-9,5	-23,3	-7,9	-10,6	1,3	-9
PLMS	-28,1	-1,8	4,5	-21	-8,7	-21,4	-6,5	-9,6	3,2	-0,2
RVGO	2,1	-52,5	-38,4	-3,4	-50,9	-2,5	-46	-45,1	3,7	-41,1
UBMG	-18,7	-42,1	-38,4	-23,1	-44,4	-7,5	-43	-46,3	-3,5	-34,2
VGPI	-28,1	16,8	23,5	-35,6	2,1	-11,6	-9,5	-12,3	-2,4	-4,9
VOTU	-18	-24,6	-12,3	-19,3	-32,9	-6,5	-15,6	-18,9	3,7	-17,8
Média	-20,3	-6,6	-6,6	-23,0	-18,8	-12,6	-16,2	-18,4	-3,1	-13,7
Desv. Pad.	17,6	26,5	20,5	18,2	19,7	8,8	16,6	16	9,3	14,5

CONCLUSÕES

O modelo DSSAT/CANEGRO é capaz de simular vários parâmetros de crescimento e resposta da cana-de-açúcar durante o tempo, com isso foi possível determinar quais foram os níveis de produtividade e acúmulo de sacarose em diferentes condições de solo, clima e manejo.

Tanto os valores de produtividade médios (TCH) e acúmulo de sacarose (POL) apresentaram se superiores em sistemas de cana planta do que em cana soca, onde o solo sofre influencia de compactação e não é tão bem manejado quanto em plantio de cana de ano e ano e meio, além de serem menos vulneráveis as alterações climáticas simuladas no experimento.

Em relação ao risco, as regiões de Uberaba, MG (UBMG) e Rio Verde, GO (RVGO) foram as regiões que apresentaram maior risco, principalmente nos ciclos de cana soca e plantio de ano e meio. Em contrapartida, a estação Diamantino, MT (DIMT) foi a que menos sofreu com as mudanças do clima.

O cenário B2, considerado otimista, apresentou maiores impactos negativos tanto na produtividade (TCH) quanto no acúmulo de sacarose (POL). Provavelmente devido à falta de chuvas nos meses entre setembro a dezembro, período de máximo crescimento vegetativo da cultura e, conseqüentemente, de maior demanda hídrica.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela bolsa de doutorado (Processo n° 2014/05887-6) concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L. M.; MARENGO J. A. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*. **Springer-Verlag** 2009. Vol 100, n 3-4, 337-350.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar, Safra 2014/2015, primeiro levantamento**. Brasília, 2014. 19p.
- COSTA, L.G., MARIN, F.R., NASSIF, D.S., PINTO, H.M., LOPES-ASSAD, M., 2014. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18, 469–474.
- GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy** 36. 2008. p. 2086– 2097.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 103, n. 1-2, p. 137–157, 2000.
- INMAN-BAMBER N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p.107-122, 2004.
- INMAN-BAMBER N.G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- KNOX, J. W.; RODRÍGUES DÍAS, J. A.; NIXON, D.J.; MKHWAZANI, M. A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in Swaziland. **Agricultural Systems** 103 p. 63-72. 2010.
- MARIN, F. R.; JONES, J. W.; ROYCE, F.; SUGUITANI, C.; DONZELI, J. L.; PALLONE FILHO, W. J. P.; NASSIF, D. S. P. Parameterization and Evaluation of Predictions of DSSAT/CANEGRO for Brazilian Sugarcane. **Agronomy Journal, Madison**, v. 103, p. 100-110, 2011.
- MARIN, F.R.; THORBURN, P.J.; NASSIF, D.S. .; COSTA, L.G.; REZENDE, A.S.; ANDRADE JUNIOR, A.S. Evaluation of APSIM-SUGAR and DSSAT-CANEGRO for widely grown brazilian sugarcane cultivar. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OS SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 28., 2013. São Paulo. **Proceedings...** São Paulo, 2013.
- NASSIF, D. S. P.; MARIN, F. R.; SAKAI, R. H.; VITTI A. C.; ROSSETO, R. Parametrização do modelo DSSAT/CANEGRO para as cultivares brasileiras de cana-de-açúcar. **XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Belo Horizonte, MG. 2009.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; CONSOLI, M. **Mapeamento e quantificação do setor sucroenergético 2008**. Ribeirão Preto: MARKESTRAT/ FUNDACE/ UNICA, 2009.

NOBRE, A. C.; SALAZAR, L. F.; OYAMA, M.; CARDOSO, M.; LAPOLA, D. Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos Biomas da América do Sul. **MMA**, Relatório n° 6. São Paulo, 2007.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; JUNIOR, J. Z.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H.; EVANGELISTA, B.; MARIN, F. R.; JUNIOR, C. M.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. **Embrapa**, São Paulo, 2008.

TOMASELLA, J.; M. G. HODNETT; L. ROSSATO. Pedotransfer functions for estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Sci. Soc. of Am. J.** 64(1):327, 2000.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 44. p. 892-898. 1980.

VIANNA, M. dos S.; SENTELHAS, P. C. Performance of DSSAT CSM-CANEGRO Under Operational Conditions and its Use in Determining the `Saving Irrigation Impact on Sugarcane Crop. **Sugar Tech**, v. 1, p. 1, 2015.