

CANA-DE-AÇÚCAR: UMA ABORDAGEM CLIMÁTICA

SUGAR CANE: A CLIMATIC APPROACH

VANDERVILSON ALVES CARNEIRO¹

Geógrafo, Doutorando em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia – GO e Docente da Universidade Estadual de Goiás (UEG), Campus Henrique Santillo, Anápolis - GO
profvandervilson@gmail.com

DERBLAI CASAROLI²

Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, Escola de Agronomia (EA), Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia - GO
derblaicasaroli@yahoo.com.br

FELIPE CORRÊA VELOSO DOS SANTOS²

Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Doutorando em Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia – GO, Docente da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC – GO) e da Faculdade Araguaia, Goiânia - GO
felipecv Santos@hotmail.com

Resumo: A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é originária da Ásia Meridional e vem sendo, geralmente, cultivada em países tropicais e subtropicais para obtenção do açúcar, do álcool e da aguardente. A cana-de-açúcar se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira, sendo cultivada desde a época da colonização, pois o Brasil possui regiões climáticas favoráveis para a sua produção. Desta forma o objetivo deste trabalho foi compilar informações a respeito das exigências e aptidões climáticas para da cana-de-açúcar e discutir a cerca dos cenários futuros para esta cultura, tendo em vista as possíveis mudanças climáticas, as quais poderão modificar as áreas de cultivo. Tendo em vista a importância da cultura da cana-de-açúcar, entende-se que a expansão desta cultura nas diferentes zonas climáticas brasileiras deve ocorrer de forma planejada, a partir de um zoneamento agroclimático adequado.

Palavras-chave: Zoneamento agroclimático. *Saccharum* spp. Clima brasileiro.

Abstract: The sugar cane (*Saccharum* spp.) came from Southern Asia, commonly cultivated in tropical and subtropical countries to obtain sugar, alcohol and hootch. The sugar cane became an important crop of the Brazilian economy, being cultivated since the colonization time, because the Brazil has climatic conditions to production. Aimed to compile information about the climate requirements and aptitudes to adequate growing of sugar cane and discuss the new information of the future scenarios for sugar cane crop, owing to the possible climate changes, which may modify the productive areas. Considering the importance of the sugar cane, we believe that the expansion that crop, in different Brazilian's climatic zones, should occur in a planned manner way, through an appropriate agroclimatic zoning.

Keywords: Agroclimatic zoning. *Saccharum* spp. Brazilian climate.

¹ Texto apresentado à disciplina Climatologia Agrícola Aplicada ao Planejamento Agrícola (1º Semestre de 2012) do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG – Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO.

² Realizaram contribuições ao texto.



1. INTRODUÇÃO

Há trinta anos, a Índia era o maior produtor de cana-de-açúcar, contudo, o Brasil é atualmente o país com a maior produção, representando 23% da produção mundial. Para a safra 2012/2013 estima-se uma área destinada ao setor sucroalcooleiro de 8,52 milhões de ha. A produção brasileira concentra-se no Estado de São Paulo (maior produtor), com uma área plantada de 4,4 milhões ha (51,87%) e uma produtividade média de 73,1 t ha⁻¹, seguido por Goiás com 725,91 mil ha (8,52%) e 70,7 t ha⁻¹ de produtividade e Minas Gerais com 721,85 mil ha (8,47%) e produtividade de 74,2 t ha⁻¹ (CONAB 2012). A cana é responsável por 70% da produção do açúcar mundial, superando a beterraba, podendo ser utilizada também como fonte de energia. Por isso, o cultivo da cana-de-açúcar tem se expandido, sobretudo, em regiões de clima tropical e subtropical.

O clima é fator fundamental para o planejamento agrícola. Para a cultura da cana, os fatores que mais interferem no processo de acúmulo de sacarose são baixas temperaturas e deficiência hídrica, sendo que o tempo frio retarda o desenvolvimento e melhora o teor de sacarose. Por outro lado, com o aumento da temperatura, o crescimento recomeça e o processo de acúmulo de sacarose cessa, isso quando o teor de água do solo permite esse crescimento (MACHADO et al. 2009, ALVES; MARENGO 2010).

A retirada da água pelo sistema radicular da planta pressupõe que no equilíbrio hídrico do sistema solo-raiz reside um dos problemas fundamentais da agricultura (CASAROLI et al. 2010). A água em excesso no solo altera processos químicos e biológicos, limitando a quantidade de oxigênio e acelerando a formação de compostos tóxicos à raiz. Já os efeitos do estresse hídrico nas plantas incluem, entre outros fatores, as reduções nas taxas de transpiração e de assimilação de CO₂ (TAIZ; ZEIGER, 2012). A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento dos cultivos agrícolas, sendo a principal causa da redução da produtividade (PIMENTEL, 2004, INMAN-BAMBER, 2004). Em condições de déficit, as plantas tendem a diminuir a perda de água pelo fechamento parcial dos estômatos, reduzindo o potencial da água na planta ($-\psi$). Para a cultura da cana, valores de potencial hídrico às 12 horas (ψ_{12h}) estão em torno de -1,3 MPa, tornando o alongamento celular praticamente nulo (INMAN-BAMBER et al., 2005). Além disso, o alongamento foliar é mais afetado pela falta de água do que o alongamento do colmo (INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER et al., 2008). Dependendo do genótipo de cana, a deficiência hídrica

também causa acentuada senescência foliar e limitação no surgimento de folhas novas (SMIT; SINGELS, 2006).

Com base nas características da planta e do ambiente, pode-se estimar a produtividade potencial, determinando a capacidade produtiva de uma cultura para uma dada região (MARIN et al., 2013). Tendo em vista que os períodos de seca reduzem significativamente a produtividade da cana, o desenvolvimento de variedades adaptadas a esta condição possivelmente será um fator determinante para o aumento da produção e ampliação de novas áreas de cultivo (HENRY, 2010).

Atualmente observa-se uma tendência de expansão das atividades canavieiras sobretudo em áreas menos consagradas, isto devido a crescente demanda por álcool, associado à divulgação de novas projeções sobre a possibilidade de ocorrência de mudanças climáticas globais até o final deste século (GONÇALVES, 2009, CASTRO, 2010).

O objetivo deste estudo foi compilar informações a respeito das exigências e aptidões climáticas da cana-de-açúcar e discutir a cerca dos cenários futuros para esta cultura, tendo em vista as possíveis mudanças climáticas, que poderão modificar as áreas de cultivo.

2. A CANA

A cana-de-açúcar é originária da Ásia Meridional, geralmente cultivada entre as latitudes 35° N e 35° S em países tropicais e subtropicais, para obtenção de açúcar, álcool e aguardente. Existem ao menos seis espécies do gênero *Saccharum*, sendo a cana-de-açúcar cultivada um híbrido multiespecífico, recebendo a designação *Saccharum* spp. Seu ciclo pode variar de 280 a 650 dias (MANZATTO et al., 2009, MARIN, 2011 e 2012).

No Brasil, a cana foi introduzida no século XVI, junto com os portugueses que trouxeram as primeiras mudas em 1532, na expedição marítima de Martim Afonso de Souza (CANABRAVA, 2005, CIB 2009). Esta cultura expandiu-se mostrando elevada capacidade de adaptação às diferentes regiões brasileiras, sendo a principal matéria-prima para a fabricação de açúcar e álcool (etanol). Por outro lado, por ser uma planta perene, sofre com as influências do clima em todo o curso do ano, ao contrário das culturas anuais que são influenciadas em períodos limitados (CRISPIM, 2006, GROFF, 2010).

Uma grande expansão desta cultura ocorreu a partir de 1970, com o advento do Pro-Álcool, programa do governo que substituiu parte do consumo de gasolina por etanol (TORQUATO, 2006, GONÇALVES, 2009). A cana-de-açúcar é considerada a cultura

agrícola mais produzida no mundo, sendo colhidas mais de um bilhão de toneladas por ano (CONAB, 2012).

Em suma, uma lavoura de cana-de-açúcar se adapta muito bem às regiões de clima tropical, quente e úmido, cuja temperatura predominante está entre 19 °C e 32 °C, com precipitação acumulada acima de 1.000 mm ano⁻¹ (CRISPIM, 2006, MARIN et al., 2012, GROFF, 2010).

3. EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA CANA

Consideram-se condições climáticas ótimas para o cultivo canavieiro, quando ocorrem duas estações distintas: i) uma quente e úmida, para proporcionar o desenvolvimento; e outra ii) fria e seca, para promover a maturação e, conseqüente, o acúmulo de sacarose nos colmos (Mello et al. 1998). Portanto, o segundo estágio possui relevante importância, pois promove uma redução/interrupção do crescimento da planta, fazendo com que produtos assimilados sejam armazenados no colmo da cana, em vez de serem utilizados no processo de crescimento (INMAN-BAMBER et al., 2005 e 2008).

Para as diferentes regiões climáticas brasileiras, sobretudo, na região centro-sul, que possui grandes áreas cultivadas, algumas condições climáticas limitantes devem ser analisados, pois atuam diretamente na produtividade de cana-de-açúcar: deficiência hídrica anual, temperatura média anual, precipitação na colheita e evapotranspiração anual (MACHADO; LANDEL, 2009, GROFF, 2010, HENRY, 2010).

Por ser de origem tropical, a cana-de-açúcar desenvolve-se bem em ambientes quentes e ensolarados. A produtividade da cultura é regida por diversos fatores intrínsecos à variedade (aspectos genéticos), bem como por características do clima, do solo e das práticas de manejo utilizados, já que todos interagem entre si (CRISPIM, 2006, FARIA; FRATA, 2008, GROFF, 2010).

O cultivo da cana-de-açúcar deve ser em áreas de condições climáticas específicas, dependendo do produto que se deseja obter: açúcar, etanol, aguardente ou forragem. Estudos agrônômicos comprovam que, a rigor, para a produção de açúcar existem maiores exigências em relação ao clima das diferentes áreas (MARIN et al., 2011 e 2012, GROFF, 2010).

Por necessitar de elevado nível de sacarose, a planta precisa de condições térmicas e hídricas adequadas durante o período vegetativo, garantindo um crescimento e desenvolvimento pleno. Ainda, há a necessidade de um período de repouso com restrições

hídricas e térmicas suficientes para assegurar o enriquecimento de sacarose na época do corte. Entretanto, essas restrições não devem ser exageradas, pois implicaria em limitar a produção geral do canavial, o que exigiria medidas corretivas que encareceriam bastante a produção (CRISPIM, 2006, CIB 2009).

Além disto, de modo a evitar os efeitos de um inverno rigoroso, o que reduziria o subperíodo vegetativo, a cultura da cana, destinada à produção de açúcar, restringe-se à zona intertropical. No Brasil, a cana é cultivada em quase todos os estados, mas as grandes zonas canavieiras restringem-se à área costeira, entre 8° e 23° de latitude Sul, onde se apresentam temperaturas e precipitações anuais médias, respectivamente, de 20 °C e entre 1.250 a 1.750 mm no Centro-Sul e 26 °C e entre 750 a 1.250 mm no Norte-Nordeste (CRISPIM, 2006, MARIN et al., 2012, GROFF, 2010).

Contudo, para um adequado crescimento e desenvolvimento, de modo a garantir uma alta produção e rendimentos de açúcar, a temperatura média do ar, durante o dia, deve ser de 22 °C a 30 °C, e a mínima em torno de 20 °C. Já a temperatura ideal do solo, para o brotamento dos toletes da cana-de-açúcar, é de 32 °C a 38 °C, em que, abaixo disto, a produção é prejudicada (CRISPIM, 2006, COPERSUCAR, 2008, MARIN et al., 2012).

Nos diferentes estádios fenológicos, a temperatura ótima para a brotação é de 32 °C e a base de 21 °C. O florescimento da cana está diretamente ligado a fatores genéticos e ambientais, tais como temperatura, comprimento do dia, e umidade do solo. Dependendo da variedade, quando ocorrem temperaturas noturnas acima de 18 °C, baixa umidade e comprimento do dia próximo de 12 horas, o florescimento é estimulado (CASAGRANDE, 1991). A temperatura ótima para o brotamento das mudas varia de 32 °C a 38 °C (DOOREMBOS et al., 1979). Câmara et al. (1993) descreveram que a melhor faixa de temperatura para a cana está entre 27 e 34 °C; abaixo de 20 °C ou acima de 35 °C, o crescimento é muito lento; sendo que valores superiores a 38 °C, a planta paralisa seu crescimento. Temperaturas entre 10 °C e 20 °C reduzem a taxa de crescimento, favorecendo a maturação e o maior acúmulo de sacarose, que é o produto mais nobre da cana, sendo a principal matéria prima da indústria sucroalcooleira (CRISPIM, 2006, COPERSUCAR, 2008).

Tanto na climatologia como na meteorologia, define-se ocorrência de geada quando há deposição de gelo sobre plantas e objetos expostos ao relento. Isso ocorre quando a temperatura do ar atinge 0 °C e tem umidade na atmosfera. Entretanto, mesmo com a formação de gelo sobre as plantas pode não haver morte dos tecidos vegetais, por elas estarem

em repouso vegetativo. Então, entende-se geada como fenômeno atmosférico que provoca a morte das plantas ou de suas partes (folhas, caule, frutos, ramos), em função da baixa temperatura do ar, que acarreta congelamento dos tecidos vegetais, havendo ou não, formação de gelo sobre a planta. A morte pode ser causada tanto por ventos muito frios, soprando por muitas horas, como pelo resfriamento radiativo com o ar muito seco (CAMARGO et al., 1993, PEREIRA et al., 2002).

A suscetibilidade das culturas agrícolas às geadas varia com a espécie, e com o estágio fenológico das plantas no momento da ocorrência (CAMARGO et al., 1993, PEREIRA et al., 2002). Não há necessidade de ocorrer o congelamento da água para que haja dano à cana-de-açúcar. Basta que ocorra queda brusca da temperatura (geada agrônômica), tanto é que a temperatura base para a cana-de-açúcar é de 18 °C. Entretanto, os danos provocados dependem também do tempo em que a temperatura mínima permanece baixa e do estágio em que se encontra a planta no momento da geada. As partes novas são mais sensíveis, principalmente as gemas e as folhas, que se danificam com temperaturas inferiores a 3 °C. As folhas centrais que saem do ápice do colmo secam e apodrecem quando a temperatura cai e permanece abaixo de 3,9 °C. As gemas, que resistem ao frio mais que as folhas, toleram até 0°C (BACCHI et al., 1980, PARANHOS, 1987).

Segundo Doorembos et al. (1979) as necessidades hídricas da cana-de-açúcar variam de 1.500 a 2.500 mm, que devem ser distribuídos de maneira uniforme durante o subperíodo vegetativo. Estas informações corroboram com Câmara et al. (1993), que recomendam 1.500 mm de chuvas por ano, principalmente nas fases de brotação, emergência e crescimento vegetativo, onde a demanda hídrica para suprir as necessidade fisiológicas da planta é maior. Porém, uma estação seca bem definida, como encontrada no Nordeste brasileiro, é extremamente favorável ao período de maturação dos colmos, pois esta condição reduz o crescimento e aumenta a concentração de açúcares nos colmos. Para Andrade (2001), as fases de brotação, perfilhamento e crescimento vegetativo, são as mais exigentes em água (período de chuvas, com precipitação anual de 1.000 a 3.000 mm ano⁻¹). Por outro lado, alguns estudos mostram que a quantidade de água necessária para a cultura atingir seu máximo potencial é em torno de 1.200 a 1.300 mm (INMAN-BAMBER et al., 2008).

Outra informação relevante é quanto ao déficit hídrico, o qual, a planta tolera ao máximo 200 mm, em seu período vegetativo (EMATER, 1980). Também, sabe-se que menos de um por cento da água absorvida pelas plantas é utilizado no seu processo fotoquímico e que os déficits internos de água das plantas envolvem percentagens muito maiores, afetando a



fotossíntese por meios indiretos. Esses efeitos são normalmente associados ao fechamento dos estômatos, a hidratação reduzida do protoplasma do clorênquima (colênquima), e a resistência na difusão de CO₂ entre a atmosfera e os cloroplastos (redução na taxa fotossintética). Somando-se a esses fatores, há ainda a água utilizada para manter os processos de translocação, responsáveis pelo transporte de solutos pelos tecidos condutores (TAIZ; ZEIGER, 2012). Inman-Bamber et al. (2005) citam que a cana requer boa quantidade de umidade no solo somente no período de crescimento, uma vez que a água tem papel fundamental na translocação e na pressão de turgescência e crescimento.

Os períodos de déficit hídrico podem ocorrer durante todo o ciclo da cultura, mas seu efeito sobre a produtividade de cana-de-açúcar varia muito em função da interação entre a época do ano em que ocorrem e a fase do ciclo fenológico da cultura (INMAN-BAMBER et al., 2008, MACHADO et al., 2009).

Outro fator de extrema relevância, para que uma determinada cultura alcance sua produtividade potencial, é a quantidade de radiação solar incidente, a qual constitui a fonte de energia para a conversão fotoquímica do CO₂ em carbono orgânico. O efeito da luz sobre as plantas, denominado fotoperiodismo, pode ocorrer de duas maneiras: pela sua duração (comprimento do dia) e pela intensidade. A cana-de-açúcar é uma planta de metabolismo fotossintético C₄, ou seja, é considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química, com taxas fotossintéticas calculadas em até 100 mg de CO₂ fixado por dm² de área foliar por hora. Dessa forma, esta alta atividade fotossintética, não se correlaciona diretamente com a elevada produtividade de biomassa. A grande capacidade da cana para a produção de matéria orgânica está na alta taxa de fotossíntese por unidade de superfície de terreno, que é influenciado pelo índice de área foliar (IAF). Além disso, o longo ciclo de crescimento da planta resulta em elevadas produções de matéria seca (Rodrigues 1995). Portanto, quanto maior for a saturação luminosa, mais fotossíntese será realizada pela cultura e, conseqüentemente, maior o seu crescimento e acúmulo de açúcares. Em geral, o comprimento do colmo aumenta com o comprimento do dia, variando de 10 a 14 horas, porém há uma redução quando submetidos a fotoperíodos longos entre 16 a 18 horas (BARBIERI; VILLA NOVA, 1982). Para Silva Júnior (2001), a luz não influi na brotação, já o perfilhamento é favorecido por alta intensidade luminosa, e o número de brotos vivos depende da quantidade de luz.

Os compostos orgânicos, reguladores vegetais, que mesmo em pequenas concentrações promovem a inibição ou modificação dos processos fisiológicos e

morfológicos da planta, são sensíveis à radiação solar. Há seis grupos de substâncias que são considerados hormônios vegetais, como as auxinas, giberelinas, citocininas, retardantes, inibidores e etileno, sendo que outras moléculas com efeitos similares têm sido descobertas, tais como, brassinoesteróides, ácido jasmônico (jasmonatos), ácido salicílico e poliaminas (CASTRO et al., 2001, DAVIES, 2004, TAIZ; ZEIGER, 2012). Essas substâncias são produzidas no ápice da planta e fluem, num sentido descendente, em fluxo contínuo. Na cana-de-açúcar, esse efeito é duplo: promove a elongação do colmo e, ao mesmo tempo, previne o desenvolvimento das gemas laterais. Sob o efeito de alta intensidade luminosa, o fluxo descendente das substâncias reguladoras de crescimento diminui (TAIZ; ZEIGER, 2012). Consequentemente, a taxa de alongamento do colmo é reduzida e o grau de inibição das gemas diminui, resultando na produção de perfilhos. Já quando a intensidade luminosa é reduzida o reverso ocorre, ou seja, o fluxo descendente das substâncias reguladoras de crescimento aumenta, resultando na aceleração da elongação do colmo e no aumento da inibição das gemas, prevenindo a produção de perfilhos (INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER et al., 2008).

Desta forma evidencia-se que determinadas regiões possuem clima ideal para esta cultura, sem quaisquer restrições, ao passo que outras apresentam algumas restrições térmicas e/ou hídricas moderadas, podendo mesmo assim garantir uma produção economicamente viável. Por outro lado, há regiões em que as restrições são limitantes e o cultivo só é possível, para o fim econômico, se existir o emprego de variedades adaptadas e de técnicas e/ou manejo para suprir as deficiências hídricas e de efeitos do frio (CRISPIM, 2006; COPERSUCAR 2008; GONÇALVES, 2009).

4. ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO

Primeiramente faz-se necessário destacar os conceitos de tempo e de clima, a fim de evitar confusões bastante comuns entre os mesmos: o tempo atmosférico diz respeito ao estado instantâneo da atmosfera em um dado instante e espaço geográfico (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007); já o clima refere-se a uma generalização das condições de tempo em um determinado período e área geográfica (VIANELLO et al., 2000). Ainda, o clima pode ser definido como uma síntese do tempo atmosférico numa dada localidade durante um período de aproximadamente 30 a 35 anos (AYOADE, 2004). Diante disto, torna-se possível realizar uma classificação climática, a qual tem como objetivo compilar condições de climas

semelhantes, homogeneizando de forma relativa os tipos climáticos, destacando-os em suas áreas geográficas (AYOADE, 2004). Algumas classificações climáticas, como a de Köppen e de Thornthwaite, são bastante utilizadas na área agrícola (PEREIRA et al., 2002; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O conceito de Zoneamento Agroclimático consiste na delimitação de áreas aptas para o cultivo de determinada espécie vegetal, a qual encontra o seu regime hídrico e energético ótimo, podendo assim atingir sua produtividade potencial, de acordo com o seu potencial genético (MANZATTO et al., 2009; MARIN, 2011). Este tipo de zoneamento exige informações a cerca das variáveis climáticas, principalmente, de chuvas e de temperatura do ar, e das exigências climáticas das culturas agrícolas (VAREJÃO-SILVA, 2006; MANZATTO et al., 2009; MARIN, 2011). Além disso, é necessário definir as áreas menos sujeitas aos riscos e adversidades climáticas, assim, um trabalho de zoneamento agroclimático pode conter as seguintes etapas: coleta de dados, análise sobre as séries pluviométricas, seleção das espécies a serem cultivadas, conhecimento sobre o ciclo de cultivo e capacidade de armazenamento de água na planta (SANTOS et al., 2000; MANZATTO et al., 2009). Sendo assim, o principal objetivo do zoneamento é delimitar as regiões ou “zonas” com potencial climático favorável para o crescimento, desenvolvimento e produção, além de possibilitar a determinação da melhor época de semeadura para cada município, levando em consideração os estádios fenológicos críticos da cultura de interesse, de modo a garantir a menor probabilidade de ocorrência de adversidades climáticas, como o déficit hídrico e as temperaturas acima da máxima ou abaixo da base para uma dada espécie vegetal (MANZATTO et al., 2009).

Para Waldheim et al. (2006), é justamente por meio do zoneamento climático que são determinadas exatamente o potencial agrícola de uma área geográfica que auxiliará o agricultor na condução de suas atividades agrícolas e mitigar as adversidades e impactos de ordem climatológica. Além de manter a potencialidade produtiva em longo prazo, o zoneamento visa causar o mínimo de impactos ao ambiente (ASSAD et al., 2008).

O zoneamento é um processo dinâmico, pois constantemente surge novas cultivares, com diferentes níveis de adaptabilidade e de exigências climáticas. Com isto, torna-se necessário a readequação do zoneamento.

O conhecimento das condições climáticas de determinada região é de extrema importância para a cultura da cana, visto que a delimitação das regiões climaticamente homogêneas pode estabelecer os indicadores do meio físico e biológico para a região,

identificando as áreas com condições homogêneas em termos de atividades e dos recursos naturais nela existentes (SANTOS et al., 2000).

Para o preparo das cartas de aptidão climática para o cultivo da cana-de-açúcar, são consideradas as seguintes faixas: i) apta para a cultura com ótimas condições térmicas e hídricas, temperatura média anual superior a 21 °C, deficiência hídrica anual entre zero e 200 mm e excedente hídrico anual inferior a 800 mm; ii) restrita, regiões com temperatura média anual entre 18 °C e 21 °C e caracterizada por deficiência hídrica moderada (deficiência hídrica anual superior a 200 mm), sendo regiões inaptas para a produção de cana para a indústria açucareira, mas aptas para a produção de aguardente e forragem, sendo recomendável o uso da irrigação; iii) inapta, carência térmica ou excesso hídrico contínuo, temperatura média anual inferior a 18 °C ou excedente hídrico anual superior a 800 mm (FRIZZONE et al., 2001; ANDRADE, 2001; WALDHEIM et al., 2006).

5. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O clima é um dos componentes de extrema relevância para a produção agrícola, pois determina áreas viáveis para o cultivo de determinadas espécies vegetais. Este também possui papel importante na adequação e estimativa da produção em função das possíveis adversidades climáticas. Evidências científicas contemporâneas têm advertido para anomalias na temperatura e nos padrões de precipitação, com consequências diretas nas atividades humanas e, especialmente, naquelas relacionadas à produção agrícola (ASSAD et al., 2008). Projeções de longo prazo indicam que a temperatura média do planeta poderá aumentar entre 1,8 °C e 4,0 °C nos próximos 100 anos, com implicações diretas em mudanças nos índices de risco que governam o desempenho das culturas agrícolas (IPCC, 2007).

Incertezas sobre a dimensão desse fenômeno implicam na necessidade de estudos com modelagem e análise de dados visando à avaliação dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre as atividades humanas, recursos naturais e, particularmente, sobre a agricultura brasileira (RIBEIRO et al., 2009).

A elevação do preço do petróleo, o apelo mundial pela redução das emissões de gases de efeito estufa e a produção de energia renovável, viabilizaram o aumento da produção de álcool, criando a necessidade de identificar áreas para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil (TORQUATO, 2006; GONÇALVES, 2009). Por outro lado, o último relatório do IPCC (2007) apresenta informações conclusivas sobre ocorrências de alterações

dos climas, principalmente em termos de elevação das temperaturas. Sobre o efeito dessas mudanças na agricultura brasileira, estudos científicos recentes indicam que o aumento da temperatura causará a elevação da perda de água por evapotranspiração e maior consumo de água pelas plantas (MARIN; NASSIF, 2013).

Atualmente, a região Centro-Oeste possui boa aptidão climática para a cana, mas esta condição pode se alterar com a mudança do clima (MARIN; NASSIF, 2013). Bombardi e Carvalho (2008) sugeriram que na região Centro-Oeste do Brasil, onde estão as maiores áreas de expansão da cana-de-açúcar, deverá ocorrer um aumento na ocorrência de eventos extremos, tanto de anos mais chuvosos quanto de anos mais secos. Este cenário de maior fragilidade climática é especialmente importante para culturas com ciclos mais longos, mais expostas aos riscos climáticos, como é o caso da cana. Porém, segundo Assad et al. (2008), o efeito do aumento da temperatura na produção de cana-de-açúcar será benéfico, mesmo na região Centro-Oeste, que apresenta restrições hídricas em alguns meses do ano. Corroborando com isto, Marin e Nassif (2013) concluíram que a cultura da cana-de-açúcar será beneficiada com o aumento da temperatura e da concentração de CO₂, pois pode promover um aumento nas taxas de fotossíntese. Assim, regiões atualmente consideradas marginais para o cultivo da cana serão menos restritivas a esta cultura.

Desta maneira, simulações de cenários futuros para a cultura da cana-de-açúcar em função destas possíveis mudanças climáticas contribuem para o planejamento de médio e longo prazo nas diferentes regiões brasileiras. Pois poderão identificar a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas e quantificar o impacto das mudanças climáticas sobre a cultura (RIBEIRO et al., 2009).

6. CONCLUSÃO

Tendo em vista a importância da cultura da cana-de-açúcar para o Brasil, entende-se que a expansão desta cultura nas diferentes zonas climáticas deve ocorrer de forma planejada, levando em consideração as exigências e aptidões climáticas, de modo a gerar um zoneamento agroclimático adequado. Além disto, estudos a cerca de possíveis mudanças climáticas e de modelos que estimam a produtividade da cana em diferentes condições atmosféricas e de água no solo, são ferramentas importantes para o planejamento a curto, médio e longo prazo.

7. REFERÊNCIAS

- ALVES, L. M.; MARENGO, J. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. **Theoretical and Applied Climatology**, Viena, v. 100, p. 337-350, 2010.
- ASSAD, E. D., PINTO, H. S. ZULLO JR, J.; MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q. Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. **Revista Plenarium**, Brasília, v.1, n. 5, p. 96-117, 2008.
- BACCHI, O. O. S.; FERRARI, S. E.; ROLIM, V. C. **Acompanhamento do estado de maturação da cana-de-açúcar submetida à geada e deterioração após o fenômeno**. Araras: IAA/PLANALSUCAR, 1980.
- BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V. de. Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: o clima presente e projeções para um cenário com 2xCO₂ usando o modelo MIROC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.23, n.1, p.58-72, 2008.
- PEREIRA, A. R.; BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. Climatic conditioning of flowering induction in sugarcane. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p.103–110, 1983.
- CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S. OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba : FEALQ, 1993. p. 31-64.
- CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anual no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n. 2, p. 161-168, 1993.
- CANABRAVA, A. P. **História econômica: estudos e pesquisas**. São Paulo: UNESP, 2005. 320 p.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal : Funep, 1991. 157 p.
- CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q.; DOURADO NETO, D. Validation of a root water uptake model to estimate transpiration constraints. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 1382-1388, 2010.
- CASTRO, P. R. C. et al. **Aplicação de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 132 p.
- CASTRO, S. S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 171-191, 2010.
- CIB - CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Guia da cana-de-açúcar: avanço científico beneficia o país**. São Paulo: CIB, 2009.



CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira:** cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2012. Brasília: Conab, 2013. 18 p.

CRISPIM, J. E. Manejo correto da cana é essencial para alta produtividade. **Revista Campo & Negócios**, Uberlândia, v.1, n. 37, p. 16-18, 2006.

DAVIES, P. J. **Plant hormones:** biosynthesis, signal transduction, action. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2004. 750 p.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome : FAO, 1979.

EMATER. **Zoneamento agroclimático do estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais - Secretaria de Estado da Agricultura, 1980. 182 p.

FARIA, A.; FRATA, A. **Biocombustíveis:** a cana-de-açúcar na região hidrográfica do Rio Paraná (a produção de grãos, a pecuária e a cana na sub-bacia do Rio Ivinhema, MS). Campo Grande : ECOA, 2008. 221 p.

FRIZZONE, J. A. MATIOLI, C. S.; REZENDE, R. GONÇALVES, A. C. A. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, **Saccharum spp.**, para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.

GONÇALVES, D. B. Considerações sobre a expansão recente da lavoura canavieira no Brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 39, n. 10, p. 70-82, 2009.

GROFF, A. M. **Fatores de produção agropecuária.** Campo Mourão : FECILCAM-Departamento de Engenharia de Produção, 2010.

HENRY, R. J. Basic Information on the sugarcane plant. In: HENRY, R.; KOLE, C. (Ed.). **Genetics, genomics and breeding of sugarcane.** New York : CRC Press, 2010. p. 1-7.

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

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SMITH, D.M.; THORBURN, P.J. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, Amsterdam v.92, p.115-117, 2005.

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.13-26, 2008.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC SRES climate scenarios:** the IPCC data distribution centre. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc-data.org/sres/gcm_data.html>. Acesso em: 10/05/2012.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit

hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, S.E.M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 55p.

MARIN, F. R.; JONES, J. W.; SINGELS, A.; ROYCE, F.; ASSAD, E. D.; PELLEGRINO, G. Q.; BARBOSA, F. J. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in Southern Brazil. **Climatic Change**, v.1, p.1-13, 2012.

MARIN, F. R.; LOPES-ASSAD, M. L.; ASSAD, E. D.; VIAN, C. E.; SANTOS, M. C. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1449-1455, 2008.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.2, p.232-239, 2013.

MARIN, F.R. Parameterization and Evaluation of Predictions of DSSAT/CANEGRO for Brazilian Sugarcane. **Agronomy Journal**, Madison, v.103, p. 1-12, 2011.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

PARANHOS, S.B. **Zoneamento agroclimático para o Brasil**. In: Cana-de-açúcar. Cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 51-55.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191p.

RIBEIRO, N. V.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. Expansão da cana-de-açúcar no Bioma Cerrado: uma análise a partir da modelagem perceptiva de dados cartográficos e orbitais. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 25 a 30 abril 2009, p. 4287-4293, Natal. **Anais... INPE**, Natal, 2009.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu : UNESP – Instituto de Biociências, 1995. 69 p.

ROSENBERG, N. J. BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate** – the biological environment. New York : John Wiley & Sons, 1983. 495 p.

SANTOS, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N.; PEZZOPANE, J. E. M. Zoneamento agroclimático para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea arabica* L.), na bacia do Rio Itapemirim, ES, Brasil. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.8, n.1, p.19-37, 2000.

SILVA JUNIOR L. D. **Estágio de desenvolvimento exigências da cultura cana-de-açúcar**. Viçosa : UFV, 2001. 21 p.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre : Artmed, 2012. 954 p.

TORQUATO, S. A. Cana-de-açúcar para indústria: o quanto vai precisar crescer. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 1, n. 10, 2006.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Climatologia e meteorologia**. Recife : Agritempo, 2006. 449 p. (versão digital 2).

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 2000. 448 p.

WALDHEIM, P. V. et al. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a Região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 30-43, 2006.