

Temperatura base e taxa de crescimento de oito variedades de cana-de-açúcar *Base temperature and growth rate of eight varieties of sugarcane*

Marcos Antonio Correa Matos Amaral¹, Rubens Duarte Coelho¹, Jefferson Vieira José², Áureo Santana de Oliveira¹

¹ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Brasil.

² Universidade Federal do Mato Grosso, Brasil.

Todos autores contribuíram de forma igualitária

Palavras-Chave

cana-de-açúcar
taxa de crescimento
temperatura base
zoneamento agrícola

Key-word

sugarcane
growth rate
base temperature
agricultural zoning

RESUMO

Com o intuito de se obter a maior eficiência produtiva, o uso de tecnologias como o melhoramento genético da cana-de-açúcar possibilita o desenvolvimento de inúmeras variedades, sejam elas resistente ao ataque de pragas ou adaptadas a condições específicas de ambiente. Cada uma dessas variedades apresentam um padrão específico de crescimento, quando submetidas a determinadas temperaturas. O objetivo deste trabalho foi obter a taxa de crescimento e a temperatura base para o desenvolvimento de oito variedades de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em estufa no Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESCLAQ/USP, foi utilizado o delineamento de blocos aleatorizados, com seis repetições. Em cada planta foi instalado um potenciômetro para monitoramento do crescimento. Verificou-se que: as variedades diferiram entre si em relação ao crescimento; o modelo cúbico é o que melhor representa o crescimento das plantas ao longo do dia; cada uma das variedades apresentou uma temperatura ótima para seu desenvolvimento; a taxa de crescimento persiste em horário noturno; a variedade 2 foi a única que não apresentou ajuste a nenhum modelo; a temperatura ótima de crescimento variou de 17 a 21°C, a temperatura de base inferior predominante nas variedades foi de 7°C.

ABSTRACTS

In order to obtain the highest productive efficiency, the use of technologies such as the genetic improvement of sugarcane allows the development of numerous varieties, either resistant to pest attack or adapted to specific environmental conditions. Each of these varieties have a specific growth pattern when subjected to certain temperatures. The objective of this work was to obtain the growth rate and the base temperature for the development of 8 varieties of sugarcane. The experiment was conducted in a greenhouse at the Department of Biosystems Engineering of ESCLAQ / USP, using a randomized block design with six replicates. At each plant a potentiometer for growth monitoring was set up. The data were submitted to quantitative and qualitative statistical analysis. It was verified that: the varieties differed in relation to each other in relation to growth; the cubic model is the one that best represents the growth of the plants during the day; each of the varieties presented an optimum temperature for its development; the growth rate persists in schedule nocturnal; the variety 2 was the only one that presented no adjustment to any model; the optimum growing temperature ranged from 17 to 21°C; and the lowest base temperature was 7°C.

Informações do artigo

Recebido: 07 fevereiro, 2019

Aceito: 13 abril, 2019

Publicado: 30 abril, 2019

Introdução

O Brasil é um dos países de maior destaque do setor sucroenergético, o que torna a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) uma das culturas de maior importância social, econômica e ambiental para o país. Em constante expansão, a cultura é a principal matéria prima para produção de etanol e açúcar, atingindo 635,51 milhões de toneladas no segundo levantamento da safra de 2018/2019, o que torna o Brasil o maior produtor mundial da cultura, tendo a região Sudeste a maior produção, com cerca de 64,9% do total produzido no país (CONAB, 2018).

A alta produtividade da cana-de-açúcar é impulsionada pela tecnologia empregada no cultivo, neste aspecto, podemos citar a irrigação e os programas de melhoramento. A produção de biomassa, o rápido crescimento e a tolerância a pragas e doenças são fatores almejados por melhoristas na elaboração de novas variedades. Contudo, as respostas das mesmas, quando submetidas a determinadas condições climáticas, podem revelar diferentes respostas de crescimento e produção (BARROS et al., 2018; LEAL et al., 2017).

A sensibilidade ao estresse hídrico também é um fator importante no desempenho produtivo da cana-de-açúcar. Barbosa et al. (2014) e Santos (2016) estudaram oito variedades de cana-de-açúcar em quatro manejos de irrigação e verificaram respostas distintas das variedades às condições de déficit hídrico impostas. Coelho et al., (2019), observou que o efeito varietal e a disponibilidade hídrica afetam a produção de biomassa e, conseqüentemente, seu poder calorífico.

Segundo Vianna (2014), 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 evapotranspirométrica. Já a disponibilidade de água no solo abaixo do ideal para a cultura pode causar redução nos perfilhos, na área foliar e estimular a senescência, reduzindo o crescimento dos colmos e, conseqüentemente, a produtividade (INMAN-BAMBER, 2004), o que torna a cultura muito dependente das condições climáticas.

O crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, de acordo com Sinclair et al. (2004), estaria relacionado com a temperatura do ar ocorrida em cada estágio de desenvolvimento. Acrescentam ainda que os valores de temperaturas mínimas do ar necessárias para desenvolvimento dos aparatos foliares estariam em torno de 10°C, mas variando conforme o cultivar. O valor de temperatura mínima do ar quando se inicia o desenvolvimento é denominado de temperatura base inferior.

Cardozo (2013) avaliou oito cultivares de cana-de-açúcar e encontrou variação de sua temperatura base, com as cultivares mais antigas (SP91-1049 e SP86-155) apresentando valores mais altos, entre 20 e 21 ° C, enquanto as cultivares precoces (RB867515) e tardias (SP83-2847) apresentaram valores menores, entre 18 e 19 ° C. Para Cardozo (2013), este fato explicou a precocidade de algumas cultivares em relação às demais, pois quanto maior a temperatura base, menor o crescimento sob baixas temperaturas do ar. As cultivares tardias são menos

sensíveis à baixa temperatura do ar do que as primeiras; assim, continuam seu crescimento por períodos mais longos, retardando seu amadurecimento.

Segundo Morais (2015) a temperatura base inferior da cana-de-açúcar varia entre os genótipos. Alguns autores estimaram que este valor estaria entre 18 a 20°C.

Para os zoneamentos agrícolas, ainda se utiliza valores entre 19 a 21°C de temperatura média anual como limite de tolerância ao desenvolvimento da cana-de-açúcar.

O conhecimento do ciclo da cultura e dos padrões de crescimento e desenvolvimento das plantas é importante para melhor manejá-las, pois se sabe que toda e qualquer produção vegetal que tenha em vista a máxima produtividade econômica, fundamenta-se na interação de três fatores: a planta, o ambiente de produção e o manejo (MARAFON, 2012).

O crescimento inicial da cana-de-açúcar ocorre durante a germinação e início das fases de perfilhamento. A brotação é um evento crítico no ciclo da cultura, dependente da concentração de água e nutrientes no pedúnculo, idade dos brotos, umidade do solo e desenvolvimento do sistema radicular, que sofre influência da compactação do solo (MAURI et al. 2017).

O período de grande crescimento da cana-de-açúcar caracteriza-se por intensa divisão celular, diferenciação e alongamento celular (AUDE, 1993; MOORE et al., 2014). O comprimento do colmo aumenta quando o comprimento do dia varia entre 10 e 14 horas (BARBIERI; VILLA NOVA, 1981).

O perfilhamento, por sua vez, pode aumentar à medida que se eleva a temperatura do ar, até atingir o valor de 30 °C. Contudo, outros fatores, como a deficiência hídrica, podem diminuir e até mesmo impedir o perfilhamento da cana-de-açúcar. Para contornar esta situação, recomenda-se irrigação controlada, dado que o excesso de água também compromete o perfilhamento (AUDE, 1993).

A Medida de altura da haste é um dos métodos mais utilizados por agricultores e pesquisadores para fins de avaliação do crescimento. Inman-Bamber (1995), considerando que o alongamento do pedúnculo reflete o desenvolvimento e o rendimento da cana, desenvolveu um método no qual, com o uso de potenciômetros, foi possível acompanhar o crescimento da cana-de-açúcar, obtendo dados satisfatórios o campo.

O objetivo deste trabalho foi apresentar a resposta de crescimento de oito variedades de cana-de-açúcar e estimar suas respectivas temperaturas base a partir do monitoramento por potenciômetros por 72 horas consecutivas.

Material e Métodos

A pesquisa foi realizada na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB), Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ/USP), Piracicaba - SP.

As coordenadas geográficas do local são 22° 43' 30" S, 47° 38' 00" W, e a área apresenta 546 m de altitude.

O experimento foi conduzido em infraestrutura já disponível no Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Engenharia da Irrigação (INCT-EI), em uma casa de vegetação, composta por três vãos conjugados, com área total de 400 m² e altura de 5,2 m, cobertura plástica e laterais fechadas com tela "sombrite" preta, com aproximadamente 50% de interceptação da radiação global.

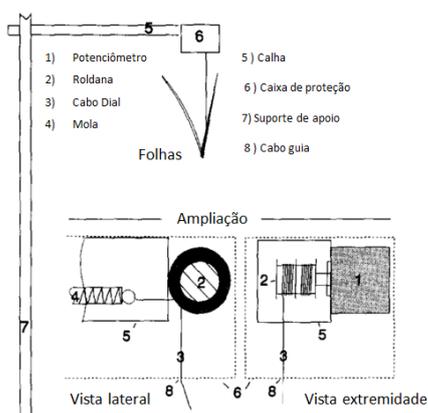
A estrutura é provida de um total de 396 vasos em concreto armado (333 litros/vaso) assentados sobre base de concreto, além de uma estufa de apoio (110 m²), que foi utilizada para abrigar os quadros de comandos do sistema de irrigação, conjuntos moto-bombas, sistemas de aquisição de dados (dataloggers), servindo, também, de apoio na realização das análises de crescimento, preparo e armazenamento dos materiais coletados.

Os elementos meteorológicos foram monitorados no interior da casa de vegetação, visando à estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith conforme proposto por Allen et al. (1998). Desta forma, foram monitorados a densidade de fluxo (W.m⁻²) da radiação solar global (R_g), através de piranômetro de silício (LI200X - Campbell Sci.), da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), através de sensor quântico (LI190SB - Campbell Sci.) e da radiação líquida (R_n), através de saldo radiômetro (NRLITE - Campbell Sci.), assim como a temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), através de sensor Vaissala (HMP45C - Campbell Sci.).

Os sensores foram instalados em cada um dos três vãos da casa de vegetação e acima do dossel da cultura, ligados aos dataloggers (CR1000 - Campbell Sci.), armazenando-se os dados em intervalos de 15 minutos (médias).

Conforme apresentado na Figura 1, a determinação da taxa de crescimento das plantas (mm.h⁻¹), em tempo real, foi quantificada através de potenciômetros montados acima da planta e ligados na folha mais jovem visível (topo da planta), monitorando a variação da resistência elétrica do potenciômetro à medida que a planta cresce e armazenando-se os dados em dataloggers, de acordo com a metodologia desenvolvida por Inman-Bamber (1995), conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 1 - Representação do sistema de mensuração da taxa de crescimento.



Fonte: Adaptado de Inman-Bamber (1995)

Foram instalados 48 potenciômetros multivolta de 50 KΩ acoplados a roldanas de 0,0467 m de diâmetro, e com um fio de nylon de 1,5 metros e 0,5 mm de diâmetro foi feita a ligação do potenciômetro à nervura central da folha +1.

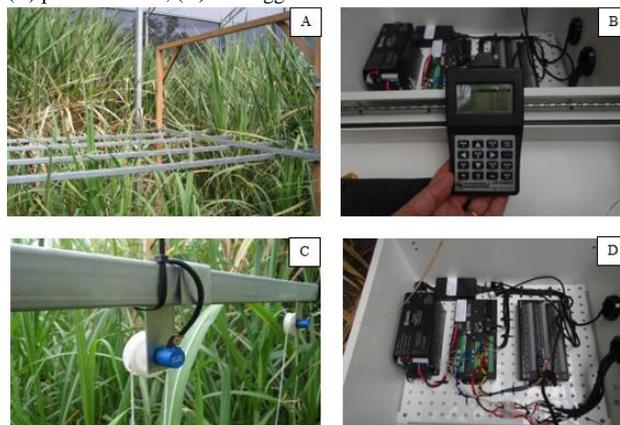
Por meio deste sistema de roldana, realizando-se a conversão do crescimento em resistência elétrica, que por sua vez era registrada no Datalogger (CR1000 - Campbell Sci.). Foi desenvolvida uma programação na qual a variação de resistência tinha seu registro expresso em milímetros de crescimento. As leituras são realizadas a cada minuto e armazenando-se os dados máximos, mínimos e médios em intervalos de 10 minutos.

Os níveis de umidade foram mantidos dentro da capacidade campo por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, sendo a quantidade de água aplicada determinada com referência na demanda potencial de cada variedade (ET_c).

Foi realizado o monitoramento das parcelas por 3 dias consecutivos em plantas com 20 dias de idade após o último corte. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos aleatorizados, no qual foram avaliadas 8 variedades em 6 blocos completos totalizando assim, 48 parcelas experimentais.

As codificações das variedades são as seguintes: V1 - CTC15, V2 - CTC 17, V3 - RB867515, V4 - RB92579, V5 - RB931011, V6 - RB966928, V7 - IAC SP 5000 e V8 - NCo 376.

Figura 2 - Montagem da plataforma de coleta de dados de taxa de crescimento. (A) suporte para os sensores, (B) visor para coleta de dados, (C) potenciômetro, (D) datalogger.



Fonte: Os autores (2019)

Os valores utilizados para análise estatística correspondem às variações de crescimento da planta para cada hora do dia.

A variável Taxa de Crescimento foi submetida à análise qualitativa para comparação das médias dentro dos fatores Dia e Variedade.

Na comparação dos fatores Variedade e a Hora do dia foi aplicada análise quantitativa por meio do ajuste do melhor modelo de regressão polinomial.

O quadro de análise variância está representado na Tabela 1.

Tabela 1 - Esquema da distribuição dos graus de liberdade (G.L.) para análise estatística da taxa de crescimento de 8 variedades de cana-de-açúcar em função dos dias de monitoramento e o horário dia.

Fonte de Variação	G.L.
Blocos	6
Variedades (VAR)	7
Dia	2
Hora do dia	23
VAR x Dia	14
VAR x Hora do dia	161
Dia x Hora do dia	46
VAR x Dia x Hora do dia	322
Resíduo	2875
TOTAL	3450

Os dados de taxa de crescimento horário foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk ($P > 0,01$) e de Bartlett para verificação da normalidade e homocedasticidade residuais, respectivamente, mediante emprego do software estatístico livre R Statistical 3.4.2[®] (R CORE TEAM, 2018). A análise de variância foi implementada utilizando funções disponíveis no pacote ExpDes.pt (Ferreira, Cavalcanti e Nogueira, 2013). A construção dos gráficos foi realizada pelo pacote ggplot2 (WICKHAM, 2009) e Lattice (SARKAR, 2008). Nos casos em que a variável analisada se adequou à distribuição normal, utilizou-se o teste F para verificação de diferenças entre tratamentos e teste de Scott-Knott ($P > 0,05$) para comparação de médias.

A partir das equações de regressão da taxa de crescimento em função das horas do dia, associou-se esses

modelos de crescimento às médias horárias da temperatura para os três dias de avaliação. Por meio de regressão polinomial obteve-se as equações de crescimento em função da temperatura e a partir dos pontos de mínimo, máximo e inflexão encontrou-se a temperatura base de crescimento para cada uma das variedades.

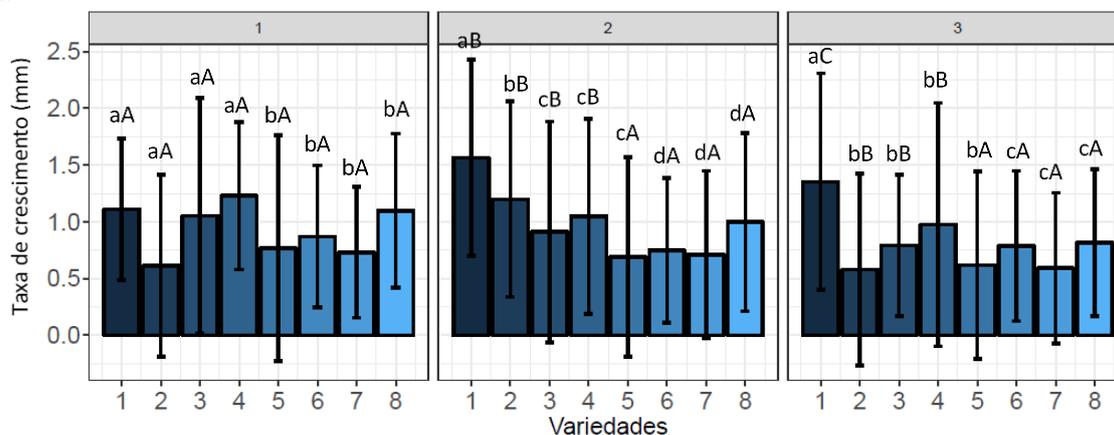
Resultados e Discussões

Inicialmente buscou-se avaliar a resposta das variedades em cada um dos dias de monitoramento (Figura 3). No primeiro dia, verificou-se que as variedades 1, 2, 3, 4 e apresentaram as maiores taxas de crescimento quando comparada as variedades 5, 6, 7 e 8.

No segundo dia, a variedade 1 se destacou pelo melhor desempenho, seguido pela variedade 2, as variedades 3, 4 e 5 foram estatisticamente iguais, enquanto que as variedades 6, 7 e 8 tiveram o menor crescimento. No terceiro dia, a variedade 1 se destacou novamente entre as demais, apresentando a melhor resposta. As variedades 2, 3, 4 e 5 tiveram uma resposta intermediária, seguidas pelas variedades 6, 7 e 8 que obtiveram o menor crescimento.

Cada um dos dias dias de avaliação apresentou uma temperatura média predominante, o que pode ter levado respostas distintas de crescimento. Dessa forma, ao analisarmos a influência do dia, verificou-se que as variedades 5, 6, 7 e 8 não apresentaram respostas distintas de crescimento nos 3 dias de avaliação.

Figura 3 - Comparação da taxa de crescimento de 8 variedades de cana-de-açúcar em função dos dias de monitoramento. Letras minúsculas comparam diferença estatística entre as variedades para cada dia e Letras maiúsculas comparam a diferença estatística ente os dias para cada variedade.



As variedades 2, 3 e 4 tiveram as maiores médias de taxa de crescimento no primeiro dia, sendo o segundo e terceiro dias estatisticamente iguais. A variedade 1 foi a mais sensível à variação térmica dentro dos três dias de avaliação, as médias de crescimento foram estatisticamente diferentes tendo o primeiro dia a melhor resposta seguido pelo segundo e terceiro dias (Figura 3). Verificado que as variedades submetidas as mesmas condições climáticas podem ter respostas de crescimento distintas, buscou-se compreender em que período do dia ocorreu o maior crescimento. Dessa forma, por meio da análise da regressão foi possível encontrar as equações de crescimento ao longo do dia. A exceção da variedade 2, todos os modelos de crescimento apresentaram um bom ajuste ao modelo cúbico.

A variedade 1 apresentou maior taxa de crescimento na primeira hora do dia e às 18 horas, com médias de 1,70mm

e 1,34 mm, respectivamente. Observou-se que às 24 horas o modelo estima a menor média de crescimento próximo de 0,85 mm (Figura 4A).

Para a variedade 2 não foi observada diferença estatística da resposta da taxa de crescimento ao longo do dia, não sendo possível o ajustado a nenhum modelo, a média desta variedade foi de 0,79 mm (Figura 4B).

A variedade 3 obteve maiores taxas de crescimento a 1 e 18 horas do dia com médias de 1,26 e 1,12 mm, respectivamente. A menor taxa foi observada as 24 horas, com registro de média de crescimento estimada em 0,40 mm (Figura 4C).

A variedade 4 teve sua maior expansão de crescimento estimada as 17 horas com registro de valor médio de 1,51mm, enquanto às 24 horas seu crescimento médio sofreu redução para 0,05 mm (Figura 4D).

A variedade 5 apresentou suas maiores médias de crescimento às 18 e 19 horas, ambos com valor estimado 3 e 0,87 mm, respectivamente; porém a menor expansão ocorreu por volta das 3 horas, sendo registrado o valor médio de 0,51mm (Figura 4E).

A variedade 6 apresentou estimativa de crescimento reduzido as 7 horas com registro de 0,49 mm. O maior crescimento foi encontrado às 18 horas com valor de 1,37 mm (Figura 4F).

A estimativa de crescimento para a variedade 7 teve seus máximos valores encontrados às 20 horas, com valores médias de 0,91 e 0,89 mm, respectivamente, e o menor crescimento foi estimado as 6 horas com média de 0,39 mm (Figura 4G).

A variedade 8 obteve reposta de crescimento reduzida as 7 horas com média estimada de 0,55 mm,

enquanto o maior crescimento foi encontrado as 21 horas com valor médio de 1,48 mm (Figura 4H). Na Figura 5 é possível observar que todas as variedades apresentaram crescimento noturno. Se no período luminoso, o metabolismo e o crescimento são comandados pela taxa de fotossíntese das folhas (GRAF et al., 2010), no período noturno, o metabolismo e crescimento são completamente dependentes das reservas da planta. Essa manutenção do metabolismo e o crescimento noturno só é possível porque a taxa de assimilação de carbono pelo processo fotossintético é suficiente para suprir a demanda durante o dia e para acumular carboidratos na folha que são mobilizados durante a noite. Estes compostos são então direcionados para crescimento vegetal, que pode ser determinado pelo aumento da massa seca, volume, altura ou área que resulta de divisão, expansão e diferenciação celular (SOUZA, 2015).

Figura 4 - Taxa de crescimento das variedades 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 em função das horas do dia.

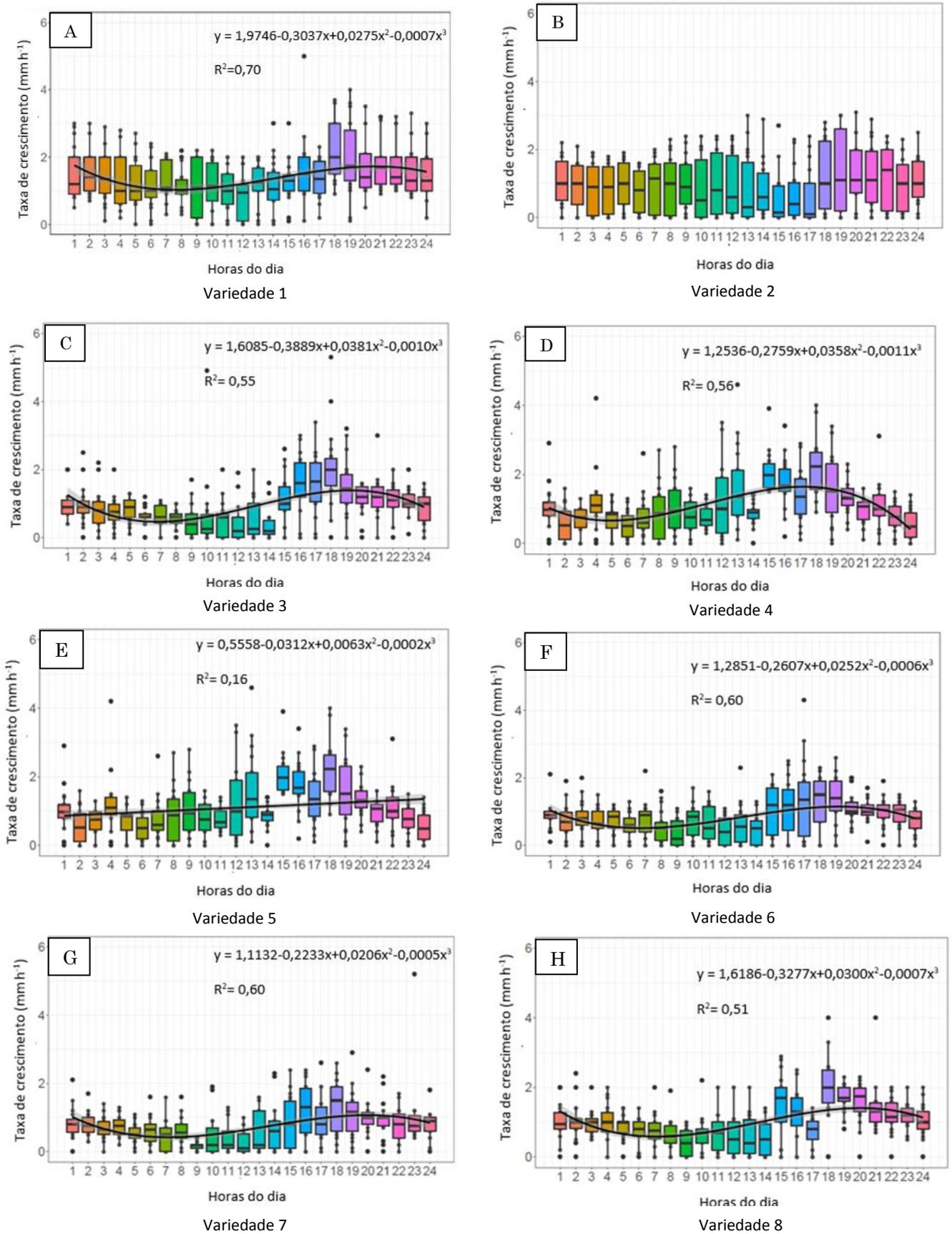
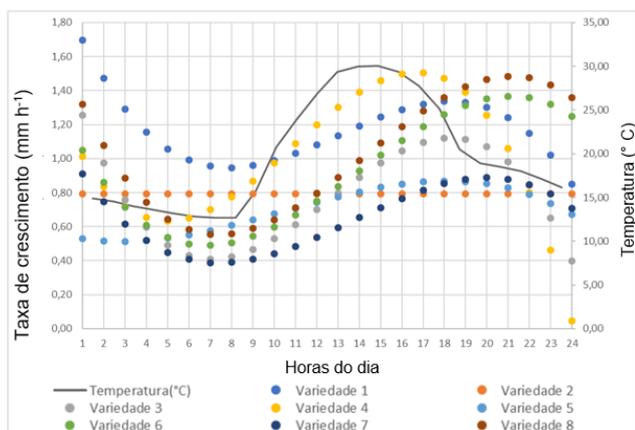


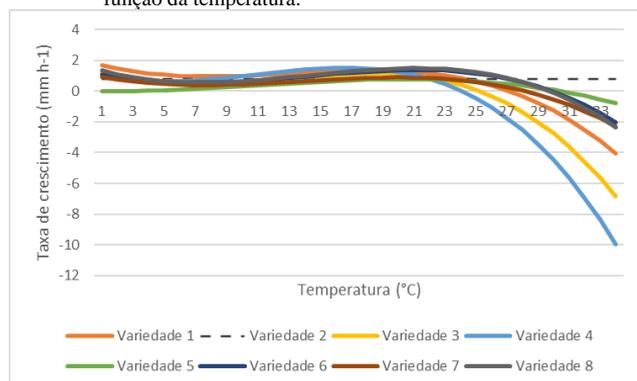
Figura 5 - Taxa média de crescimento de oito variedades de cana de açúcar e temperatura média dos três dias de monitoramento em função das horas do dia.



Ao analisarmos regressão da taxa de crescimento

em função da média de temperatura horária dos três dias (Figura 6), verificamos que para todos os modelos, exceto para a variedade 2, foi ajustado o modelo cúbico. Tal modelo, porém, possui uma limitação quando verificamos as temperaturas muito baixas, uma vez que antes do ponto de mínimo é registrado crescimento em condições em que tal fenômeno não poderia ocorrer.

Figura 6 - Taxa de crescimento de oito variedades de cana de açúcar em função da temperatura.



As equações de crescimento de cada variedade em função da temperatura demonstradas na Figura 6 estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Equação de estimativa da taxa de crescimento em função da temperatura.

Variedade	Equações
1	$y = -0,0007x^3 + 0,0275x^2 - 0,3037x + 1,9746$
2	$y = 0,79 \text{ mm h}^{-1}$
3	$y = -0,001x^3 + 0,0381x^2 - 0,3889x + 1,6085$
4	$y = -0,0011x^3 + 0,0358x^2 - 0,2759x + 1,2536$
5	$y = -0,0002x^3 + 0,0063x^2 - 0,0312x + 0,5558$
6	$y = -0,0006x^3 + 0,0252x^2 - 0,2607x + 1,2851$
7	$y = -0,0005x^3 + 0,0206x^2 - 0,2233x + 1,1132$
8	$y = -0,0007x^3 + 0,03x^2 - 0,3277x + 1,6186$

Estabelecidas as curvas para cada variedade, é possível estimarmos faixas de temperatura de crescimento para cada uma delas. O ponto máximo da curva compreende a temperatura ótima (ponto em que ocorre maior expansão dos tecidos).

O ponto de mínimo representa a temperatura de base inferior, no qual a planta, em temperaturas abaixo deste valor pode ter seu desenvolvimento comprometido.

O ponto de inflexão é o marco no qual as plantas submetidas a valores de temperatura acima deste ponto tem seu crescimento reduzido, pode ser considerado como a temperatura base superior (Tabela 3).

Tabela 3 - Temperaturas de ponto máximo, mínimo e de inflexão observados para cada variedade.

Variedade	Ponto de máximo	Ponto de mínimo	Ponto de inflexão
1	18°C	8°C	27°C
2	-	-	-
3	18°C	7°C	25°C
4	17°C	7°C	24°C
5	21°C	2°C	30°C
6	21°C	7°C	29°C
7	20°C	7°C	28°C
8	21°C	7°C	29°C

A temperatura ótima para crescimento encontrada para as 8 variedades estudadas variou de 17 a 21°C. Foi observado também que, predominantemente, a temperatura base inferior para o crescimento foi de 7°C, a exceção das variedades 1, 2 e 5. A temperatura base superior foi a que mais diferenciou entre as variedades, variando de 24°C para a variedade 4 e 30°C para a variedade 5. Tais valores encontrados corroboram com os limites encontrados na literatura (AUDE et al., 1993; SINCLAIR et al., 2004; MORAIS, 2015).

A variedade 5 se destacou pela tolerância a maior amplitude térmica, uma vez seu crescimento pode ser observado na faixa a de 2 até 30°C.

As variedades 3 e 4 são mais sensíveis a regiões de cultivo com amplitude térmica muito alta, como também a temperaturas muito elevadas, podendo seu crescimento ser comprometido quando submetidos a temperaturas muito altas.

As plantas quando condicionadas ao aumento gradativo da temperatura foliar ou ao estresse hídrico, tem como resposta o fechamento dos estômatos e a redução da transpiração foliar, o que reduz o seu crescimento (GARCÍA-TEJERO et al., 2011; ZARCO-TEJADA et al., 2012).

Segundo Silva et al. (2014), a evapotranspiração é o principal fator de perda de água para a atmosfera dentro de um balanço hídrico, que é a relação entre os parâmetros climáticos e o potencial de água no solo.

Conclusão

A partir da análise dos resultados podemos obter as seguintes conclusões:

- As variedades de cana-de-açúcar estudadas apresentaram respostas distintas em relação a taxa de crescimento.
- A variedade 1 se destacou das demais por apresentar as maiores taxas de crescimento.
- A variedade 2 foi a única que não se ajustou a nenhum modelo de regressão.

- O modelo cúbico é o que melhor se ajustou na relação do crescimento das plantas em função das horas do dia.
- Em todas as simulações foi evidenciado o crescimento noturno.
- A temperatura ótima de crescimento variou de 17 a 21°C.
- A temperatura de base inferior predominante nas variedades foi de 7°C.
- Todas as variedades apresentaram limitação de crescimento quando submetidas a temperaturas superiores a 30°C.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão dos recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- AUDE, M.I.S.; MARCHEZAN, P.L.; DARIVA, T.; PIGNATARO, L.H.B. Manejo do palhço da cana-de-açúcar: efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agrônômicas. **Ciência Rural**, v.23, p.281-286, 1993.
- BARBIERI, V. e VILLA NOVA, N.A. **Climatologia e a cana-de-açúcar**. In: CURSO INTENSIVO SOBRE CANA-DE-AÇÚCAR, Araras, Araras, IAA/PLANALSUCAR, P. 1-100, 1981.
- BARBOSA, F. S.; COELHO, RUBENS D.; MASCHIO, RAFAEL; LIMA, CARLOS J. G. DE S.; SILVA, EVERALDO M. DA. Drought resistance of sugar-cane crop for different levels of water availability in the soil. **Engenharia Agrícola** (Impresso), v. 34, p. 203-210, 2014.
- BARROS, T. H. S.; PEREIRA, A. P. A.; SOUZA, A. J.; RIBEIRO, N. L.; CARDOSO, E. J. B. N.; COELHO, R. D. Influence of Sugarcane Genotype and Soil Moisture Level on the Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community. **Sugar Tech**, v. 20, p. 1-9, 2018
- CARDOZO, N. P.; SENTELHAS, P. C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Sci. agric.** (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 70, n. 6, p. 449-456, Dec. 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acomp. safra bras. cana**, v. 5 - Safra 2018/19, n. 2 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-86, 2018.
- COELHO, R. D. ; LIZCANO, J. V. ; BARROS, T. H. S. ; BARBOSA, F. S. ; LEAL, D. P. V. ; SANTOS, L. C. ; RIBEIRO, N. L. ; FRAGA JUNIOR, E. F. ; MARTIN, D. L. . Effect of water stress on renewable energy from sugarcane biomass. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 103, p. 399-407, 2019.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: **Experimental Designs package**. R package version 1.1.2. 2013
- INMAN-BAMBER, N.G. Automatic plant extension measurement in sugarcane in relation to temperature and soil moisture. **Field Crops Research**, v. 42, p. 135-142. 1995.
- GARCÍA-TEJERO, I. F.; DURÁN-ZUAZO, V. H.; MURIEL-FERNÁNDEZ, J. L.; JIMÉNEZ-BOCANEGRA, J. A. Linking canopy temperature and trunk diameter fluctuations with other physiological water status tools for water stress management in citrus orchards. **Functional Plant Biology**, v. 38, p. 106-117, 2011.
- GRAF, A.; SCHLERETH, A.; STITT, M. & SMITH A.M. Circadian control of carbohydrates availability for growth in Arabidopsis plants at night. Proceedings of the National Academic of Sciences, v. 20, n. 127, p. 9458-9463, 2010.
- INMAN-BANBER N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v. v. 89, p. 107-122, 2004.
- LEAL, D. P. V.; COELHO, R. D.; BARBOSA, F. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; MAURI, R.; SANTOS, L. C. Water productivity for sugar and biomass of sugarcane varieties. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Impresso), v. 21, p. 618-622, 2017.
- MOORE, P.H.; BOTHA, F.C. **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**. 1 ed.: John Wiley & Sons Ltd, 2014, 716p.
- MARAFON, A.C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168).
- MAURI, R.; COELHO, R. D.; FRAGA JUNIOR, E. F.; BARBOSA, F.S.; LEAL, D. P. V. Water relations at the initial sugarcane growth phase under variable water deficit. **Eng. Agr.**;Jaboticabal, v. 37, p. 268-276, 2017.
- MORAIS, K. P. **Determinação da temperatura base, desempenho agrônômico e correlação de componentes de rendimento em genótipos de cana-de-açúcar**. 2015. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2013.

SANTOS, L. C. **Produção de biomassa e eficiência no uso da água para oito variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento em dois ciclos de cultivo**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SILVA, V. P. R.; BORGES, C. J. R.; ALBUQUERQUE, W. G. Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.2, p.625-632, 2014.

SOUZA, A.P. **Mecanismos fotossintéticos e relação fonte-dreno em cana-de-açúcar cultivada em atmosfera enriquecida em CO₂**. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015;

SINCLAIR, T. R. et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**. v.88, p.171-178, 2004

SARKAR, D. **Lattice: Multivariate data visualization with R**. New York: Springer, 2008. Disponível em: <http://lmdvr.r-forge.r-project.org>. Acesso em: 08 de janeiro de 2019.

VIANNA, M. S. **Risco climático para a cultura da cana-de-açúcar e estratégias de manejo de irrigação complementar para a sua minimização em diferentes regiões brasileiras**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

WICKHAM, H. **Ggplot2: Elegant graphics for data analysis**. Springer, New York, 2009. Disponível em: <http://had.co.nz/ggplot2/book>.

ZARCO-TEJADA, P. J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; BERNI, J. A. J. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. **Remote Sensing of Environment** v. 117, p. 322–337, 2012.