

VELOCIDADE DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL FREÁTICO NA QUALIDADE DO CALDO DA CANA-DE-AÇÚCAR

ANTONIO CLARETTE SANTIAGO TAVARES¹; SERGIO NASCIMENTO DUARTE²; JARBAS HONÓRIO MIRANDA²; NILDO DA SILVA DIAS³; KELLY TAGIANNE SANTOS DE SOUZA⁴ E FRANCISCO DIRCEU DUARTE ARRAES⁵

¹Agrônomo, Prof. Doutor, Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, IFNMG, Campus Almenara. antonioirrigacao@yahoo.com.br.

²Agrônomo, Prof. Doutor, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP. snduarte@usp.br, jhmirand@usp.br.

³Agrônomo, Prof. Doutor, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Ufersa/DCAT, Mossoró, RN. nildo@ufersa.edu.br.

⁴Agrônoma, Prof. Doutora, Universidade Federal de Roraima, UFRR. ktagianne@hotmail.com.

⁵Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP. dirceuarraes@usp.br

1 RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar o efeito de velocidades de rebaixamento do nível freático (NF) na qualidade do caldo da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp, cultivar RB 867515), aplicadas em três estádios de desenvolvimento de um ciclo de cana planta. Desenvolveu-se um experimento, utilizando 64 lisímetros, em delineamento de blocos casualizados, arranjado em um fatorial de (3 x 5 + 1) com 4 repetições. Aplicou-se a inundação em três estádios de desenvolvimento (67, 210 e 300 Dias Após o Plantio - DAP), com cinco velocidades de rebaixamento do NF (30 cm em 3, 6, 9, 12 e 15 dias) e um tratamento testemunha (apenas irrigação, sem inundação). Os parâmetros de avaliação dos tratamentos foram Brix, Pol, açúcar teórico recuperável (ATR), açúcar redutor da cana (ARC), rendimento de açúcar teórico (RAT) e porcentagem de fibra. Os resultados mostram que os parâmetros ARC, RAT e porcentagem de fibra não foram influenciados pelo período de inundação, tão pouco pela velocidade de rebaixamento do NF. Entretanto menores valores de Brix, Pol e ATR foram observados quando a inundação ocorreu aos 305 DAP, sob uma velocidade de rebaixamento do nível freático de 0,3 m em 12 dias.

Palavras-chave: drenagem, inundação, *Saccharum* spp.

TAVARES, A.C.S.; DUARTE, S.N.; MIRANDA, J.H.; DIAS, N. da S.; SOUZA, K.T.S.; ARRAES, F.D.D.

DOWNGRADE RATE OF WATER TABLE ON JUICE QUALITY OF SUGARCANE

2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of downgrade rate of water table on juice quality of sugarcane (*Saccharum* spp, cv. RB 867515), applied in three developmental stages of a sugarcane cropping cycle. The experiment was conducted using 64 lysimeters in a 3 x 5 x 1 factorial randomized block design with 4 replicates. Flood irrigation system was applied in 3 stages of development (67, 210 and 300 days after planting - DAP) using 5 downgrade

rates of water (30 cm in 3, 6, 9, 12 and 15 days) and a control (no flood irrigation system). Brix, Pol, theoretical recoverable sugar (TRS), reducing sugar in sugarcane juice (RS), theoretical yield (TY) and percentage of fiber were the parameters for treatment evaluation. The results showed that flood irrigation and downgrade rate of water table had no influence on RS, TY and percentage of fiber parameters. However, lower values of Brix, Pol and TRS were found when flooding occurred at 305 DAP under 0.3 m downgrade rate of water table in 12 days.

Keywords: Drainage, flooding, *Saccharum* spp.

3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é a commodity agrícola que mais cresceu nos últimos anos no Brasil e sua área cultivada está aumentando acentuadamente em razão de sua utilização na produção de etanol e açúcar refinado, com elevado valor econômico (GALON et al., 2012).

Crítérios de drenagem são imposições feitas sobre o desempenho de sistemas de drenagem para que estes possam ser dimensionados, utilizando equações de cálculo do espaçamento entre drenos, uma vez conhecidas as propriedades hidrodinâmicas e geométricas do perfil do solo (BORGES JUNIOR et al., 2001).

Os critérios de drenagem podem ser estabelecidos para condições de regime permanente ou não permanente. No primeiro caso, é preciso se definir a profundidade ideal em que o lençol freático (LF) ficará estabilizado e para qual magnitude de chuva precipitada esta estabilização ocorrerá. Este critério é geralmente utilizado em regiões de clima temperado, onde a recarga se dá devido ao degelo da neve precipitada durante o inverno (como a Holanda) ou em situações onde as chuvas sejam bem distribuídas e de baixa intensidade (FERREIRA, 1987). No segundo caso, ou seja, em regime não permanente, os critérios de drenagem se aplicam a problemas de lençóis freáticos originados da percolação proveniente de precipitações intensas ou de perdas verticais profundas de irrigações. Para o cálculo do espaçamento dos drenos em regime não permanente dois parâmetros básicos, além da magnitude da recarga são necessários: a profundidade para qual o LF deve ser rebaixado após a recarga e o tempo necessário para que o lençol atinja esta profundidade pré-estabelecida. Uma vez instalados os drenos, essa velocidade de descida do LF vai depender das características hidrodinâmicas e geométricas do perfil do solo, da profundidade e do espaçamento dos drenos (DUARTE; MIRANDA; FOLEGATTI, 2001).

O dimensionamento do sistema de drenagem em regime não permanente deve permitir efetuar-se a retirada do excesso de água dentro do tempo de tolerância ao encharcamento de cada cultura, para não acarretar problemas ao desenvolvimento e produção da mesma. A remoção do excesso de água acumulada na superfície e no perfil do solo, por intermédio da implantação de um sistema de drenagem adequado, deve ser um meio eficiente e necessário para promover a adaptação e o desenvolvimento das plantas (SÁ; CRUCIANI; MINAMI, 2004 e SÁ et al., 2005).

A concepção do dimensionamento em regime não permanente é apropriada para regiões úmidas, onde se deve eliminar a água proveniente do escoamento superficial e realizar o controle do rebaixamento do LF em relação à superfície do solo. No caso de regiões áridas e semiáridas, acrescenta-se à essa concepção o propósito de controlar a salinidade do solo, mantendo-a a níveis que sejam toleráveis pelos cultivos. A intenção final dessas estratégias relacionadas ao planejamento da drenagem agrícola é melhorar ou manter as propriedades

físicas e químicas do solo, visando propiciar um ambiente favorável ao desenvolvimento e produção das culturas.

Para projetar um sistema de drenagem deve-se ter em conta a origem da inundação, as condições geológicas e topográficas do solo, as necessidades das plantas, as características especiais do agroecossistema e seu custo. Uma das razões de maior importância pela qual os sistemas de drenagem muitas vezes não são utilizados, principalmente em solos rasos e de permeabilidade reduzida, é o custo de implantação, que pode tornar-se elevado, deixando o sistema anti-econômico (MINGOTI et al., 2006).

Uma vez que os sistemas de drenagem sejam planejados e executados adequadamente (com o conhecimento da variável sensibilidade da planta à inundação), pode-se obter um grau de controle do LF suficiente para a habilitação de solos que antes permaneciam inundados o ano todo, permitindo a prática da Agricultura ou da Pecuária, além de assegurar a produção em terrenos alagados parcialmente, com uma melhor relação benefício/custo (CALHEIROS et al., 2000).

Esse trabalho teve como objetivo verificar o efeito da inundação, em diferentes estádios de desenvolvimento e em diferentes velocidades de rebaixamento do NF, sobre os parâmetros de qualidade do caldo da cana-de-açúcar, como Brix, Pol, açúcar teórico recuperável (ATR), açúcar redutor da cana (ARC), rendimento de açúcar teórico (RAT) e porcentagem de fibra, de modo a se obter um novo critério de drenagem para essa cultura, que leve em conta aspectos qualitativos da produção.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido no Departamento de Engenharia Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, no município de Piracicaba-SP (22° 42’ de latitude sul e 47° 38’ de longitude oeste e altitude de 540 m). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo CWa (tropical úmido), com três meses mais secos (junho, julho e agosto), ocorrendo chuvas de verão e secas de inverno, apresentando temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C.

O ambiente protegido tem cobertura em arco, com 6,40 m de largura e 22,50 m de comprimento, paredes laterais e frontais confeccionadas com telas antiafídeas e rodapé de 0,20 m em concreto armado. A cobertura consiste de manta de polietileno de baixa densidade, transparente, com 0,10 mm de espessura, tratada contra a ação de raios ultravioletas. Em função das características do experimento, e sendo a cana-de-açúcar plantada em manilhas de concreto simples (sem armação), com 1,20 m de altura acima piso da estufa, e considerando o fato da cultura ter um desenvolvimento expressivo, fez-se necessário a construção da casa de vegetação com um pé direito de 4,0 m, permitindo o desenvolvimento da cultura sem limitação.

O estudo consistiu em determinar a qualidade da produção da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp, cultivar RB 867515) em cultivo inundado e posterior rebaixamento do nível freático para 0,3 m de profundidade nas velocidades de 3, 6, 9, 12 e 15 dias (V_1 , V_2 , V_3 , V_4 e V_5 , respectivamente). Além disso, adicionou-se um tratamento com sub-irrigação, sem inundação, de forma a obter valores oriundos de plantas não submetidas ao estresse por encharcamento (testemunha).

A lâmina de inundação que foi estabelecida, levantando-se o NF, era inicialmente mantida acima da superfície do solo, em aproximadamente 2 cm, por 12 horas e, após esse

intervalo, o rebaixamento progressivo continuou até os 0,30 m em três profundidades. Na sequência, manteve-se a queda do NF até a drenagem total do lisímetro (manilha de concreto). O momento da inundação foi determinado pelos estádios de desenvolvimento da cultura, quais sejam: a) estágio vegetativo – aos 67 Dias Após o Plantio (DAP), quando as plantas estavam num estágio inicial de desenvolvimento, b) aos 210 DAP, quando o desenvolvimento do sistema radicular ainda se encontrava em ritmo lento e c) aos 300 DAP, estágio em que a cana-de-açúcar tem um desenvolvimento acelerado do seu sistema radicular - estágio próximo a colheita, podendo o estresse influenciar no valor qualitativo da produção.

Obtiveram-se, assim, as seguintes combinações: T, P₁V₁, P₁V₂, P₁V₃, P₁V₄, P₁V₅, P₂V₁, P₂V₂, P₂V₃, P₂V₄, P₂V₅, P₃V₁, P₃V₂, P₃V₃, P₃V₄ e P₃V₅, totalizando 16 tratamentos.

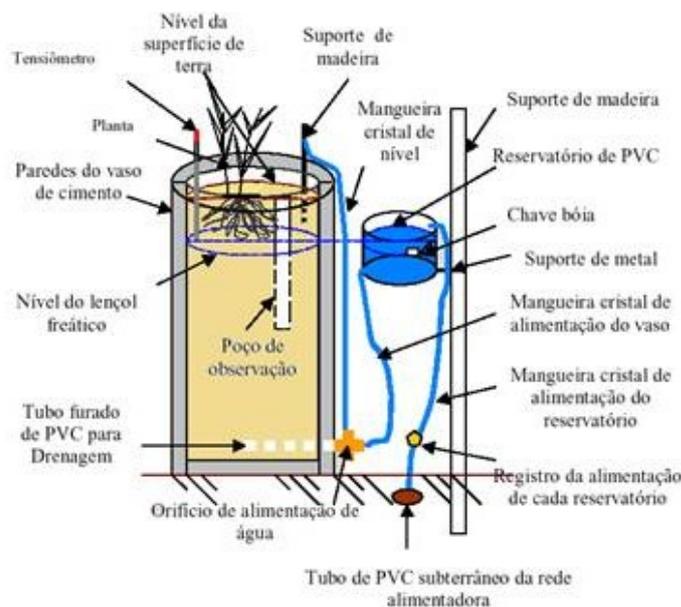
A cana-de-açúcar foi cultivada em 64 lisímetros, constituídos de manilhas de concreto simples, impermeabilizadas, com 1,2 m de altura e 0,5 m de diâmetro, área plantada de 0,20 m² e volume útil de 240 litros, instalados na área experimental; os lisímetros foram posicionados em 4 linhas de 16 manilhas, sendo que cada um desses recipientes representou uma parcela experimental.

O fornecimento de água para os lisímetros foi realizado por intermédio de dois reservatórios de cimento-amianto, com capacidade de 1000 litros cada, providos de chave-bóia e colocados sobre um tablado de madeira com 2,5 m de comprimento, 1,6 m de largura e 1,6 m de altura, estando localizados no interior da casa de vegetação.

Para a admissão de água e para a drenagem, foram feitos orifícios, próximos à base de cada lisímetro, nos quais foram inseridos tubos de PVC de 19 mm de diâmetro, vedados com massa epóxi e veda calha. Os tubos tinham um comprimento de 0,60 m, com furos de 5 mm de diâmetro em seu perímetro, espaçados entre si de 0,05 m. Para facilitar a drenagem e evitar o carreamento de solo, utilizaram-se como materiais filtrantes manta geotextil sintética (bidim OP -20) e uma camada de 0,10 m de brita lavada.

Os lisímetros possuíam uma entrada para água na parte inferior, as quais foram conectadas a reservatórios móveis auxiliares, que permitiam manter o NF no interior dos mesmos na profundidade desejada (Figura 1). Cada lisímetro representava estatisticamente um recipiente-parcela.

Figura 1. Esquema de um lisímetro parcelar constituído por uma manilha de concreto simples (sem armação), conectada a um reservatório auxiliar com bóia (PVC azul).



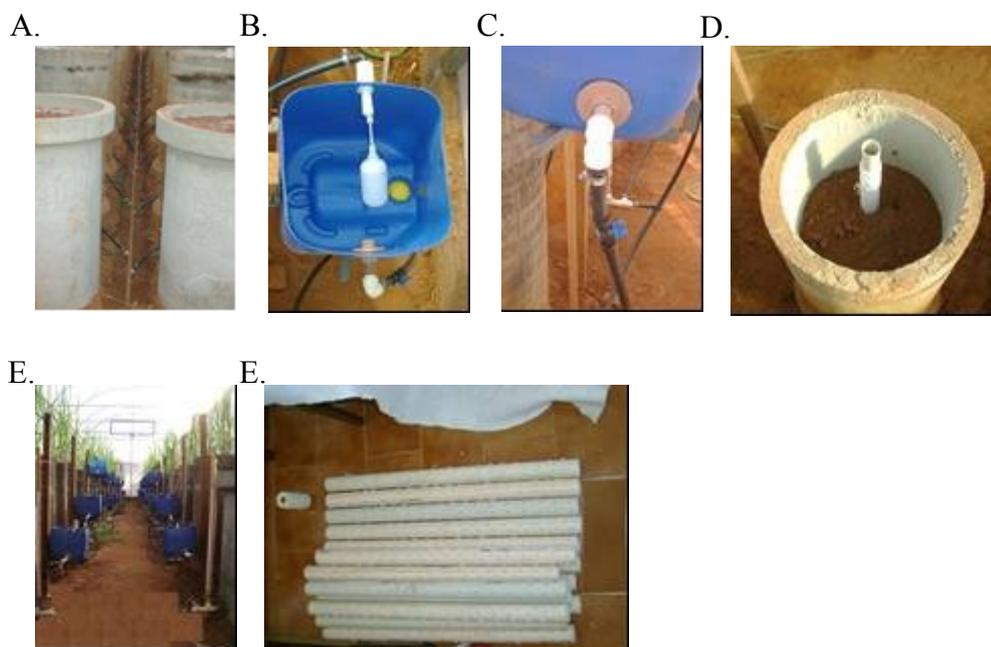
A partir dos reservatórios suspensos de cimento-amianto, o abastecimento de água para as manilhas de concreto se deu por meios de uma rede de tubos de PVC e de polietileno, de 19,0 e 12,5 mm de diâmetro, respectivamente, sendo estas enterradas a 20 cm de profundidade no chão da casa de vegetação. Havia quatro linhas, com 16 recipientes conectados a cada linha por tubos de polietileno.

Cada lisímetro dispunha de uma tomada de água diretamente da rede principal (Figura 2A). Os tubos de PVC foram seccionados para a colocação das derivações onde foram acopladas a mangueiras de polietileno de 12,5 mm, conectadas a pequenos reservatórios retangulares, 0,30 x 0,27 x 0,40 m, confeccionados a partir de tambores de 30 litros de PVC azul, providos com chaves-bóia (Figura 2B). A saída de água para cada lisímetro foi controlada por um registro (Figura 2C).

Os reservatórios de PVC azul foram utilizados para rebaixar ou manter constante o NF no interior dos lisímetros, individualmente, durante a realização dos tratamentos. Para melhor visualização do NF no interior dos recipientes e aplicação dos tratamentos, instalaram-se poços de observação de PVC com 0,80 m, perfurados com orifícios com 4,0 mm de diâmetro e espaçados de 0,03 m, e envolvidos com manta sintética (bidim OP-20) (Figura 2D e 2E). Também foram instalados piezômetros, na parte externa de todas as parcelas, utilizando mangueiras cristal de 7 mm de diâmetro, apoiadas em sarrafos de madeira (Figura 2F).

Cada lisímetro foi inundado apenas uma vez, no momento em que a planta atingiu o estágio fenológico estabelecido, exceto o tratamento controle, que foi somente irrigado.

Figura 2. Detalhes da tomada de água da rede de abastecimento (A), reservatório com chave-bóia (B), mini-registro (C), poços de observação sendo instalados (D), conjunto de poços de observação envelopados (E) e piezômetros auxiliares externos feitos de mangueira cristal (F).



O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados, arranjado em um fatorial de $[(3 \times 5) + 1] \times 4$, ou seja, três estádios de desenvolvimento da cultura da cana de

açúcar nos quais a inundação foi aplicada, cinco velocidades de rebaixamento do NF e uma testemunha, com quatro repetições, totalizando 64 parcelas.

O material de solo utilizado no preenchimento dos lisímetros foi coletado em um perfil natural de um Latossolo Vermelho Amarelo, de textura franco-arenosa, presente no Campus da ESALQ/USP, denominado Série “Sertãozinho”, na profundidade de 0 a 0,50 m. Com coleta de amostras deformadas, foram determinados os atributos químicos e físicos do solo (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Análise física do solo utilizado no preenchimento dos lisímetros.

| Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) | Densidade das Partículas g dm ⁻³ |
|-----------|-----------|------------|---|
| 78 | 4 | 18 | 2,86 |

Tabela 2. Análise química do solo utilizado no preenchimento dos lisímetros.

| pH | M.O g dm ⁻³ | P mg dm ⁻³ | S mg dm ⁻³ | K | Ca | Mg | Al | H+Al mmolc dm ⁻³ | SB | T | V % | m |
|-----|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----|----|----|----|-----------------------------|------|------|-----|----|
| 4,2 | 8 | 2 | 20 | 3,6 | 7 | 3 | 6 | 20 | 13,6 | 33,6 | 40 | 31 |

A calagem do solo foi realizada na ocasião do preenchimento dos lisímetros, aplicando-se 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (40 g por lisímetro). A adubação química foi aplicada em três etapas durante o enchimento, garantindo o pleno desenvolvimento vegetativo e produtividade, utilizando-se a recomendação de Dias e Rosseto (2006).

No estágio inicial da cana-planta, preocupou-se em proporcionar condições de umidade ideais para a brotação e enraizamento dos toletes. Nos primeiros 20 DAP, foram realizadas irrigações diárias com água da rede de abastecimento do Departamento de Biosistemas da ESALQ-USP, a fim de manter o solo na capacidade de campo (6 kPa). Entre o período de 20 a 30 DAP, estacionou-se o NF a 0,30 m da superfície, por meio do reservatório auxiliar utilizado, uma vez que o sistema radicular ainda se encontrava em desenvolvimento, evitando assim que a cultura sofresse algum estresse hídrico. Após os 30 DAP, o NF foi rebaixado a 0,40 m de profundidade para estimular o desenvolvimento do sistema radicular, ocasião em que se instalaram tensiômetros nas parcelas a 30 cm de profundidade, visando o controle da irrigação.

A cana foi irrigada ao longo de todo o ciclo, exceto no período em que os tratamentos com inundação estavam sendo aplicados, garantindo que as diferenças obtidas fossem proporcionadas apenas pelo estresse por excesso de umidade (hipoxia). Depois da aplicação dos tratamentos, rebaixou-se o NF até a 0,80 m da superfície do solo; a irrigação destas plantas recomeçava no momento em que o valor das leituras dos tensiômetros instalados a 0,30 m de profundidade nos lisímetros atingia o valor de tensão crítica de 50 kPa (MATIOLI, 1998). A leitura dos tensiômetros foi realizada semanalmente com um tensiômetro digital.

O sistema de irrigação idealizado foi a sub-irrigação, utilizando o mesmo sistema de inundação dos lisímetros. O nível do reservatório auxiliar ficou estacionado a 0,40 m de profundidade, e quando se detectava que as leituras dos tensiômetros estavam acima da tensão especificada para a irrigação, os registros dos reservatórios eram abertos e o NF permanecia por um período de 24 horas nesta profundidade. Durante este período a lâmina aplicada por capilaridade era suficiente para elevar novamente a umidade do solo próxima ao valor da

umidade na capacidade de campo (6 kPa), umidade esta caracterizada pela curva característica de retenção da água no solo; decorridas as 24 horas os registros eram fechados. A irrigação foi contínua ao longo de todo o ciclo da cana e mantida até sua paralização, que ocorreu aos 45 dias antes do corte.

Os colmos das plantas foram colhidos com corte rente ao solo e enviados ao Laboratório do Departamento de Tecnologia de Alimentos da ESALQ/USP para determinação das características químico-tecnológicas. A amostra que foi analisada, resultante da mistura das amostras simples, foi preparada em um aparelho desintegrador, recolhida e homogeneizada em betoneira. Pesou-se o resíduo úmido (ou bolo úmido) resultante dessa desintegração e extraiu-se o caldo pelo método da prensa hidráulica; esta extração foi feita por meio de uma prensagem a 250 kgf cm⁻² por 1 minuto, de 500 g de amostra de cana desfibrada e homogeneizada. Em seguida, determinaram-se os teores de sólidos solúveis (°Brix) e a porcentagem em massa de sacarose aparente (Pol), conforme as metodologias descritas por Leme Filho (2005). Os demais parâmetros de qualidade como açúcar teórico recuperável (ATR), rendimento de açúcar teórico (RAT), açúcares redutores da cana (ARC) e porcentagem de fibras foram determinados segundo a metodologia do Conselho dos Produtores de Cana, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo - Consecana (2006).

Para a análise estatística dos resultados foi feita inicialmente uma análise de variância. Tendo em vista que os fatores empregados foram quantitativos e qualitativos, realizou-se o teste F, conjuntamente com os testes de Tukey e Dunnett, em nível de 5% de probabilidade. O teste de Tukey comparou a média entre os tratamentos que sofreram inundação entre si. Já o teste de Dunnett foi utilizado para se comparar cada tratamento que sofreu inundação com o controle (testemunha sem inundação, apenas irrigada).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a interpretação dos dados contidos na análise de variância (Tabela 3), houve efeito significativo dos parâmetros de qualidade °Brix e Pol da Cana-de-açúcar apenas para os fatores tratamentos (velocidades e períodos) e para a interação velocidade x períodos; não foi observado efeito significativo do açúcar teórico recuperável (ARC) em nenhum dos fatores estudados.

Tabela 3. Análise de variância para o teor de sólidos solúveis (°Brix), porcentagem em massa de sacarose aparente (Pol) e açúcar redutor da cana (ARC).

| Causas de variação | GL | °Brix | Pol | ARC |
|------------------------|----|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | QM | | |
| Períodos | 2 | 0,716 ^{ns} | 0,48 ^{ns} | 0,002 ^{ns} |
| Velocidades | 4 | 0,590 ^{ns} | 0,69 ^{ns} | 0,002 ^{ns} |
| Velocidades x Períodos | 8 | 0,708 ^{**} | 0,84 ^{**} | 0,001 ^{ns} |
| Blocos | 3 | 0,550 ^{ns} | 0,71 ^{ns} | 0,002 ^{ns} |
| Tratamentos | 15 | 0,659 ^{**} | 0,72 ^{**} | 0,002 ^{ns} |
| Resíduo | 45 | 0,305 | 0,33 | 0,001 ^{ns} |
| Total | 63 | | | |

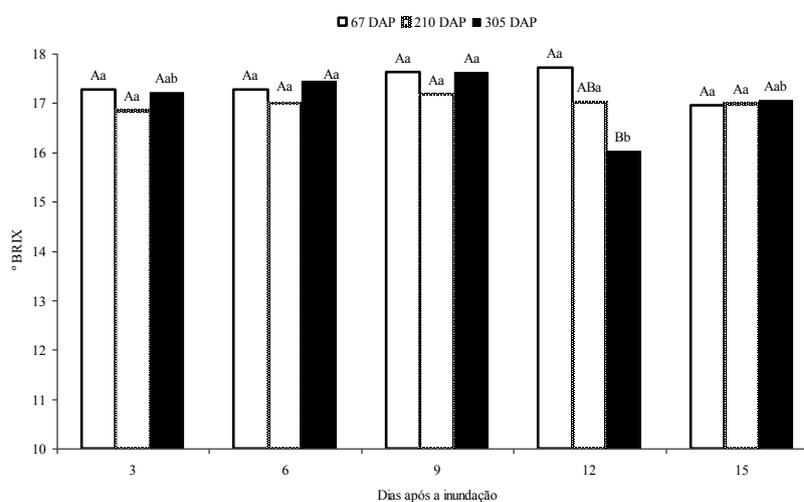
** significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

Foram registrados valores médios extremos não significativos, para a variável teor de ARC iguais a 0,47; 0,49; 0,49 e 0,51%, respectivamente, para a Testemunha, para o período de 67 DAP, para as velocidades 9 e 12 dias para rebaixar 0,3 m e para os tratamentos P₁V₁ e P₃V₄. Já para o °Brix foram registrados valores médios não significativos iguais a 17,49; 17,37; 17,48 para a Testemunha, para o período de 67 DAP e para a velocidade 9 dias para rebaixar 0,3 m, respectivamente (Tabela 3).

Paula (2008) obteve valores médio e máximo de ARC de 0,53 e 0,65%, respectivamente, para um NF estabilizado a 0,50 m de profundidade por um período de 4 dias, aos 270 DAP da cana-de-açúcar. Leite et al. (2009) afirmam que a concentração de ARC no caldo da cana-de-açúcar é menor em condições de limitação hídrica, o que pode ter ocorrido inadvertidamente com o tratamento P₁V₁; situações que apresentem maiores disponibilidades hídricas favorecem uma maior concentração de sacarose, segundo estes autores.

O desdobramento e as médias da interação velocidade x períodos para o parâmetro °Brix são apresentados na Figura 3, na qual as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; as letras minúsculas comparam médias entre os dias após a inundação e as maiúsculas comparam médias entre os períodos. Verifica-se que as plantas que sofreram estresse pela inundação no período de 305 DAP na velocidade rebaixamento de 0,3 m em 12 dias apresentaram valor médio de 16,03 °Brix, sendo este valor estatisticamente inferior aos demais períodos e velocidades estudados.

Figura 3. Médias do °Brix do caldo da cana-de-açúcar obtidas segundo os diferentes tratamentos, considerando a interação velocidades de rebaixamento x períodos em que a inundação foi aplicada.



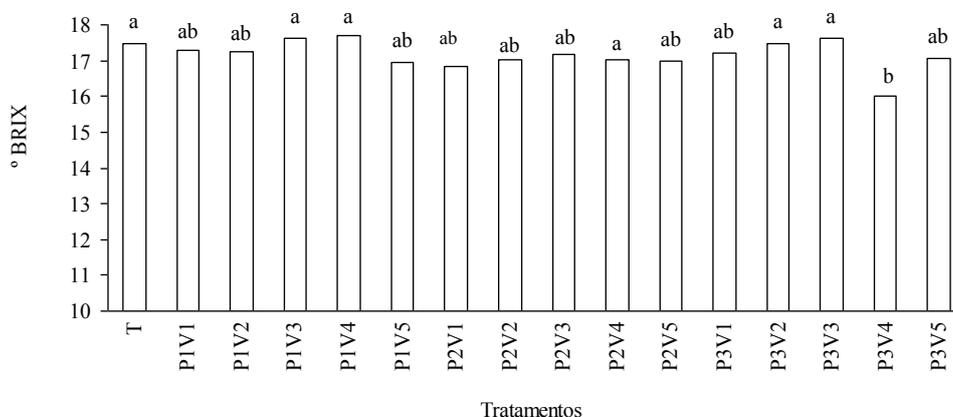
Quando a inundação ocorreu aos 67 DAP para a mesma velocidade de rebaixamento, observou-se um valor médio de 17,7% no °Brix do caldo da cana-de-açúcar. No entanto, pode-se observar que para o mesmo período, com uma velocidade rebaixamento de 0,3 m em 15 dias, ocorreu um estresse ainda mais severo, registrando-se valor médio superior (17,06%). Paula (2008) comprovou a redução no teor de sólidos solúveis no caldo da cana-de-açúcar, quando o estresse foi aplicado a plantas submetidas a inundação no estágio final de maturação da cultura, independente do tempo de permanência da elevação do nível freático.

Com relação ao °Brix, quando foram englobados todos os tratamentos conjuntamente, registraram-se médias variando de 17,71 à 16,03%, respectivamente, para os tratamentos P₁V₄ e P₃V₄, diferindo estes extremos estatisticamente entre si.

O tratamento P₃V₄ ainda apresentou diferença significativa em relação aos tratamentos P₁V₃, P₂V₄, P₃V₂, P₃V₃ e em relação à Testemunha (Figura 4). Ressalta-se que, as médias seguidas da mesma letra, entre os tratamentos, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, e quando comparados os tratamentos com a testemunha, médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade.

Valores semelhantes foram constatados por Cruciani e Minami (1981), que avaliaram os efeitos dos cultivos alagados de 5 e 10 dias de duração, aplicados aos 1, 2, 3, 6, 9 e 12 meses após o plantio da cana-de-açúcar. Esses autores encontraram valores médios de 14,9 °Brix para os tratamentos alagados por 5 dias, e 15,8 °Brix para os alagamentos de 10 dias. Já Paula (2008), que também testou a sensibilidade da cana-de-açúcar a diferentes níveis freáticos (tratamentos com elevação do NF durante 4 e 8 dias de duração, a uma profundidade de 0,25 e 0,50 m, aplicados aos 3, 6 e 9 meses após o plantio, e com NF estacionário a 0,40 e 0,60 m durante todo o ciclo), não encontrou diferenças significativas entre seus tratamentos; no entanto, obteve valores médios superiores aos já relatados, atingindo a 18,99 °Brix.

Figura 4. Média do °Brix do caldo da cana-de-açúcar obtidas nas parcelas considerando os diferentes tratamentos.



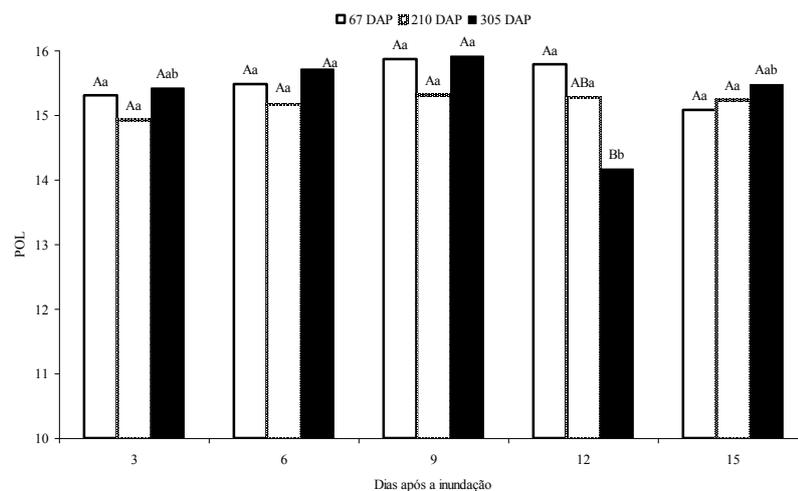
As médias da massa de sacarose aparente, para as causas de variação que não apresentaram significância, quais sejam, Testemunha, período de inundação começado aos 67 DAP e velocidade de rebaixamento do LF de 30 cm em 9 dias, foram iguais as 15,67; 15,50 e 15,70%, respectivamente. Paula (2008) obteve valores médios extremos de Pol de 18,45% para uma condição do NF estacionado a 0,60 m de profundidade durante todo o ciclo de uma cana-planta, o que, segundo o autor, caracterizava uma condição hídrica ideal; este autor utilizou o mesmo material de solo empregado no trabalho que aqui se apresenta.

Os valores médios de Pol obtidos do caldo das plantas para a interação velocidade de rebaixamento x períodos de estresse são apresentados na Figura 5. Destaca-se que, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, sendo que as letras minúsculas comparam médias das velocidades de rebaixamento do NF e as maiúsculas comparam médias entre os períodos em que a hipoxia foi

imposta. O estresse ocasionado pela inundação aos 305 DAP, para a velocidade de rebaixamento de 0,3 em 12 dias, acarretou no menor valor médio de Pol (14,18%); este valor diferiu dos valores obtidos nas plantas que sofreram estresse semelhante aos 67 DAP (Pol = 15,79%).

Paula (2008) observou que o tempo de 8 dias de manutenção da elevação do NF próximo da superfície foi o que proporcionou melhores valores de Pol, independente do estágio de aplicação dos tratamentos e da profundidade do NF estabilizado.

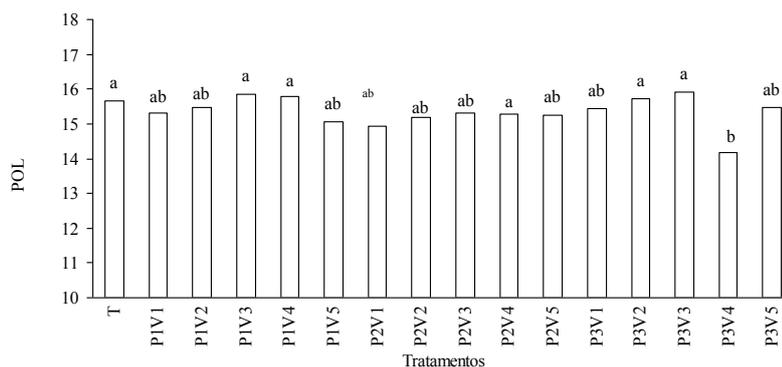
Figura 5. Médias do Pol da cana-de-açúcar obtidas nas parcelas, considerando a interação velocidades de rebaixamento do NF x períodos de aplicação do encharcamento.



Os valores médios de Pol para os tratamentos são apresentados na Figura 6. As médias seguidas da mesma letra, entre os tratamentos, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; quando comparados os tratamentos com a testemunha, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade. Desde modo, registraram-se médias que variaram de 15,92 e 14,18% para os tratamentos P₃V₃ e P₃V₄, respectivamente, ou seja, uma diferença entre os extremos de 10,89%. Os demais tratamentos não diferiram entre si. Paula (2008), para suas condições experimentais, obteve valor médio de Pol de 17,01%.

Na Tabela 4, verificam-se efeitos significativos dos tratamentos e, também, da interação velocidades x períodos para o parâmetro açúcar teórico recuperável (ATR) e efeito significativo do fator períodos para o parâmetro fibra da cana-de-açúcar. Porém, não houve efeito significativo do rendimento de açúcar teórico em nenhum dos fatores estudados.

Figura 6. Médias do Pol da cana-de-açúcar obtidas nas parcelas, considerando todos os tratamentos impostos e a testemunha.



Foram registrados valores médios extremos de RAT, embora não significativos, de 0,51; 0,54; 0,55 e 0,61 kg parcela⁻¹, respectivamente, para as causas de variação Testemunha, período de 67 DAP, velocidade de 3 dias para rebaixar 0,3 m e tratamento P₃V₁ (Tabela 4).

Os valores médios da ATR, também não significativos, variaram de 153,59 à 153,79 kg Mg⁻¹ cana⁻¹ para as causas de variação Testemunha e velocidade 9 dias para rebaixar 0,3 m, respectivamente. Paula (2008) obteve as maiores concentrações de ATR nos tratamentos com níveis freáticos estabilizados entre 60 e 40 cm de profundidade durante todo o ciclo da cultura (150,09 e 150,04 kg Mg⁻¹, respectivamente).

Tabela 4. Análise de variância para percentagem de fibra, açúcar teórico recuperável (ATR) e rendimento de açúcar teórico (RAT).

| Causas de variação | GL | Fibra | ATR | RAT |
|------------------------|----|--------------------|---------------------|----------------------|
| | | QM | | |
| Períodos | 2 | 1,01** | 44,95 ^{ns} | 0,0023 ^{ns} |
| Velocidades | 4 | 0,30 ^{ns} | 58,47 ^{ns} | 0,0029 ^{ns} |
| Velocidades x Períodos | 8 | 0,25 ^{ns} | 71,88** | 0,0169 ^{ns} |
| Blocos | 3 | 1,75** | 58,77 ^{ns} | 0,0573** |
| Tratamentos | 15 | 0,35 ^{ns} | 62,29** | 0,0102 ^{ns} |
| Resíduo | 45 | 0,20 | 28,06 | 0,0082 |
| Total | 63 | | | |

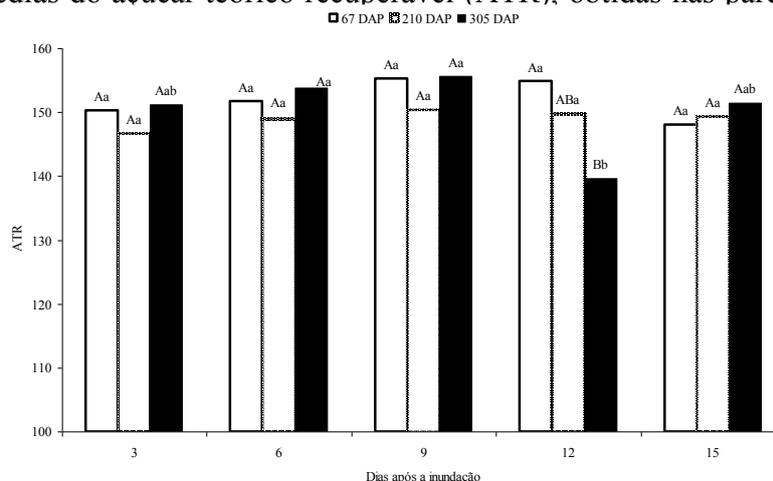
** significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

^{ns} não significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

Na Figura 7 são apresentados os valores médios de ATR para o desdobramento da interação velocidades x períodos. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, sendo que as letras minúsculas comparam médias entre os dias após a inundação (velocidades) e as maiúsculas comparam médias entre os períodos. Assim como o °Brix e a Pol, o parâmetro ATR apresentou efeito semelhante, ou seja, a inundação aos 305 DAP para a velocidade de rebaixamento de 0,3 em 12 dias apresentou o menor valor médio de ATR (139,67 kg Mg⁻¹); já os valores obtidos das plantas que sofreram a inundação aos 67 DAP apresentaram um acréscimo na ATR de 9,7%.

É importante destacar que, o maior valor da componente em estudo (ATR) foi obtido para o rebaixamento de 0,3 m efetuado aos 9 dias após a inundação das parcelas. Paula (2008) obteve a maior concentração de ATR com o tempo de 8 dias de duração de aplicação dos tratamentos (elevação do NF), independente da profundidade e do estágio de desenvolvimento da cultura. Para suas condições experimentais, verificou que os níveis freáticos aplicados aos diferentes estágios de desenvolvimento não causaram diferenças na concentração de ATR, que foi influenciada apenas pela duração dos tratamentos (dias em que o NF se manteve elevado).

Figura 7. Médias do açúcar teórico recuperável (ATR), obtidas nas parcelas, considerando a inunda

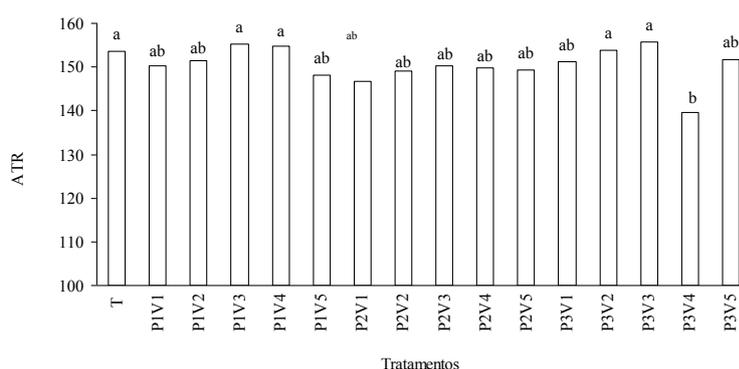


A Figura 8 apresenta os valores médios de ATR para os tratamentos compostos dos três períodos de inundação das parcelas e das cinco velocidades (3, 6, 9, 12 e 15 dias) de rebaixamento do NF, para uma profundidade de 0,3 m da superfície do solo. As médias seguidas da mesma letra, entre os tratamentos, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, e, quando comparados os tratamentos com a testemunha, médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade. Obteve-se o menor valor médio de ATR (139,67 kg Mg⁻¹) para o tratamento P₃V₄, e o maior valor médio de ATR (155,70 kg Mg⁻¹) para o tratamento P₃V₃.

Essa redução do ATR, devido à presença de NF raso, também foi quantificada por Glaz e Gilbert (2006). Esses autores cultivaram cana-de-açúcar em lisímetros, com diferentes posições de NF estabilizado, e verificaram que a cada 1 cm de posição rebaixada do NF, a uma profundidade além dos 0,44 m, houve um incremento que variou de 0,04 a 0,38 kg de ATR m⁻².

Gilbert et al. (2008) observaram que a inundação completa e níveis freáticos variando entre 11 a 18 cm abaixo da superfície do solo, durante o ciclo da cana-planta e da cana-soca, não proporcionaram influência no acúmulo de açúcar. No entanto Glaz et al. (2002) verificaram que profundidades menores que 15 cm reduziram em 25% o acúmulo de açúcar, quando comparado com NF a 38 cm de profundidade. A respeito dessa contradição a qual chegaram os autores acima mencionados, Paula (2008) comenta que as diferentes respostas podem, possivelmente, ser função das variedades estudadas, do tipo de solo e da demanda evapotranspirativa.

Figura 8. Médias do açúcar teórico recuperável (ATR) obtidas nas parcelas, considerando todos os tratamentos implementados e a testemunha.

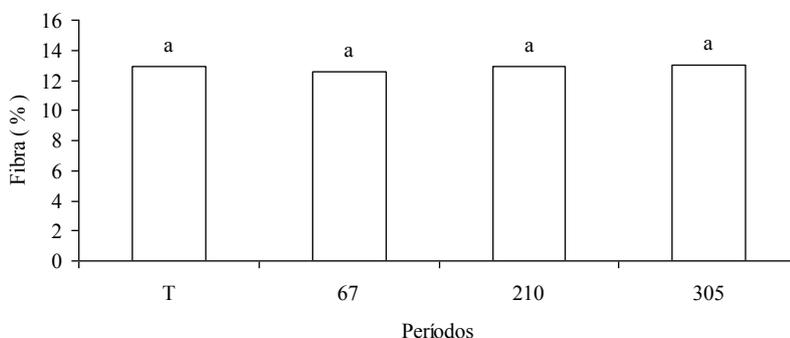


Os valores médios do teor de fibra para os tratamentos: Testemunha, velocidade de 9 dias para rebaixar 0,3 m e P₃V₃ não apresentaram significância, e foram iguais a 12,9; 12,9 e 13,9%, respectivamente. Paula (2008), em cultivo de cana-planta, obteve a maior porcentagem de fibra (11,45%) para condições de maior disponibilidade hídrica no início do ciclo. No entanto, quando a inundação ocorreu no estágio final do ciclo cultural, houve uma redução na porcentagem de fibra para 10,19%, independente da profundidade do NF e do tempo de duração das inundações.

O parâmetro porcentagem de fibra mostrou significância na análise de variância para a causa de variação períodos (Tabela 2); no entanto, quando se comparou as médias dos períodos entre si, utilizando o teste Tukey, ou os valores médios de fibra das plantas submetidas aos períodos de estresse com a média das plantas que estiveram submetidas somente a irrigação (Testemunha) utilizando o teste Dunnett, a significância não foi observada. Possivelmente isto se deve ao fato de que tais testes são mais rigorosos que o teste F utilizado na análise de variância (Figura 9). As médias seguidas da mesma letra, entre os três períodos, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, e quando comparados os períodos com a Testemunha, médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade.

O maior valor médio obtido para a porcentagem de fibra, incluindo os períodos e a testemunha, foi de 12,97%. Paula (2008) encontrou diferenças entre os valores médios de fibra de 10,9 e 10,7%, quando o estresse ocorreu aos 90 e 180 DAP, respectivamente; valor médio de fibra foi de 10,3%, obtido quando o estresse ocorreu aos 270 DAP.

Figura 9. Médias da porcentagem de fibra na cana estimada nas parcelas, considerando os períodos nos quais o encharcamento foi aplicado.



6 CONCLUSÃO

Os parâmetros de qualidade açúcar redutor da cana (ARC), rendimento de açúcar teórico (RAT) e porcentagem de fibra não foram influenciados pelo período no qual o encharcamento foi aplicado nem pela velocidade de rebaixamento do nível freático.

Menores valores de °Brix, Pol e de açúcar teórico recuperável (ATR) foram observados quando a inundação ocorreu aos 305 DAP, sob uma velocidade de rebaixamento do nível freático de 0,3 m em 12 dias. Assim, para garantir a qualidade do caldo, sugere-se utilizar como critério de drenagem subterrânea o rebaixamento do lençol freático de 0,3 m em 9 dias.

7 REFERÊNCIAS

- BORGES JUNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A.; HEDDEN-DUNKHORST, B.; ANDRADE, C. L. T. Sistemas de drenagem agrícola. Parte I: Desenvolvimento do modelo e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, p. 369-375, 2001.
- CALHEIROS, R. O.; CRUCIANI, D. E.; ARRUDA, F. B.; VOLTAN, R. B. Q.; SAKAI, E.; PIRES, R. C. M. Efeito do manejo do lençol freático na adaptação fisiomorfológica de duas espécies de trigo ao encharcamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, p. 194-202, 2000.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 112 p.
- CRUCIANI, D. E.; MINAMI, K. Efeitos das inundações periódicas sobre a produção de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 97, p. 57-61, 1981.
- DIAS, F. L. F.; ROSSETO, R. Adubação e calagem da cana-de-açúcar. In: Segato, S. V.; Pinto, A. S.; Jendiroba E.; Nóbrega, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. 415p.
- DUARTE, S. N.; MIRANDA, J. H.; FOLEGATTI, M. V. Dimensionamento econômico de sistemas de drenagem para a produção de cana-de-açúcar usando o modelo SISDRENA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 1-6, 2001.
- FERREIRA, P.A. **Drenagem**. Brasília: ABEAS, 1987. 86 p.
- GALON, L.; TIRONI, S. P.; SILVA, A. F. da; BEUTLER, A. N.; ROCHA, P. R. R.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A. da. Disponibilidade de macronutrientes em cultivares de cana-de-açúcar submetidas à competição com *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 1372-1379, 2012.
- GILBERT, R.A.; RAINBOLT A, C.R.; MORRIS, D.R.; MCCRAY, J. M. Sugarcane growth and yield responses to a 3-month summer flood. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 95, p. 283-291, 2008.
- GLAZ, B.; GILBERT, R. A. Sugarcane response to water table, periodic flood, and foliar nitrogen on organic soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, p. 616-621, 2006.
- GLAZ, B. , EDME, S. J. , MILLER, J. D. , MILLIGAN, S. B. ,HOLDER, D. G. Sugarcane cultivar response to high summer water tables in the Everglades. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 624-629, 2002.
- LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. de A.; VENTURINI FILHO, W.

G.; SURIANO, A. Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 726-732, 2009.

LEME FILHO, J. R. A. **Estudo comparativo dos métodos de determinação e de estimativa dos teores de fibra e de açúcares redutores em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MATIOLI, C. S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1998.

MINGOTI, R.; FLECHA, P. A. N.; DUARTE, S. N.; CRUCIANI, D. E. Efeito da velocidade de rebaixamento do nível freático em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da alface. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 10-16, 2006.

PAULA, A. L. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em ambiente protegido sob diferentes níveis freáticos**. 2008. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SÁ, J. S.; CRUCIANI, D. E.; MINAMI, K. Efeitos de inundações temporárias do solo em plantas de ervilha. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 50-54, 2004.

SÁ, J. S.; CRUCIANI, D. E.; DUARTE, S. N.; PEREIRA, J. R. B. Sensibilidade de plantas de soja ao rebaixamento do nível freático. **Irriga**, Botucatu, v. 10, p. 135-145, 2005.